



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA ZÁMKU SKLÁDACÍHO METRU

PRODUCTION OF THE FOLDING METER LOCK

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Václavek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Petr Václavek**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Výroba zámku skládacího metru

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem zadání bude zpracovat možnosti výroby zadané součásti, navrhnout technologii výroby a vypracovat konstrukční řešení nástroje pro zadanou součástku.

### Cíle diplomové práce:

- Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
- Literární studie vhodných technologií.
- Vypracování technologického postupu výroby na základě potřebných výpočtů.
- Konstrukční řešení nástroje.
- Ekonomické vyhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technologია tvárnenia, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. U.S. (USA) : Industrial Press Inc., 2005. ISBN 9780831132590.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking : cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. 1st edition. Landsberg/Lech : Verl. Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.

DILLINGER, Josef, et al. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Z něm. orig. Fachkunde Metall přeložil Jiří Handlíř. 55. vyd. Praha : Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

VÁCLAVEK Petr: Výroba zámku skládacího metru.

---

Práce předkládá návrh technologie výroby zámku skládacího metru. Použitým materiálem je ocel DC01+LC o tloušťce 0,3 mm. Výrobní série činí 100 000 ks/rok. Z rozboru použitelných možností výroby bylo zvoleno tváření v postupovém sdruženém nástroji technologiemi stříhání, ohýbání a ražení. Na základě literární studie byl navržen nástroj pro výrobu součásti v jedenácti krocích, při vynaložení maximální síly 38,5 kN. Produkce bude probíhat na výstředníkovém lisu LEN 40 C. Technicko-ekonomickým zhodnocením byla stanovena tržní cena jedné součásti 3,38 Kč.

Klíčová slova: Ocel DC01, plošné tváření, stříhání, ohýbání, ražení

## **ABSTRACT**

VÁCLAVEK Petr: Production of the Folding meter lock.

---

The thesis proposes a concept of manufacturing the folding meter lock. The part is made from DC01+LC steel of 0,3 mm thickness. The series size is 100 000 pcs/year. A forming in a progressive combination tool combining shearing, bending and stamping was chosen for the production, based on the analysis of possible solutions. The tool, designed on the basis of literary research of used technologies, produces the part in eleven steps exerting maximal force of 38,5 kN. The production will take place on an eccentric press LEN 40 C. The market price of 3,38 Kč for one piece was established by the technical and economic evaluation.

Keywords: DC01 steel, sheet metal forming, shearing, bending, stamping

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VÁCLAVEK, Petr. *Výroba zámku skládacího metru* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132376>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 21.5.2021

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále také děkuji rodině za podporu během studia.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
1.1 Variantní řešení výroby .....	11
<b>2 ROZBOR POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ</b> .....	15
2.1 Stříhání .....	15
2.1.1 Síly a práce v procesu stříhání .....	17
2.2 Ohýbání .....	19
2.2.1 Odpružení a poloměr ohybu .....	21
2.2.2 Síla a práce v procesu ohýbání .....	22
2.3 Ražení .....	23
2.4 Nástřihové plány .....	24
2.4.1 Těžiště sil .....	25
2.5 Nástroje .....	26
2.5.1 Střížné nástroje .....	26
2.5.2 Ohýbací nástroje .....	30
2.5.3 Ostatní části sdružených postupových nástrojů .....	30
2.6 Stroje .....	32
2.7 Technologičnost .....	33
<b>3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY</b> .....	35
3.1 Rozvinutý tvar a odpružení .....	36
3.2 Rozmístění výstřižků a volba polotovaru .....	37
3.3 Postup výroby .....	36
3.4 Síly a práce .....	44
3.4.1 Těžiště sil .....	46
3.5 Konstrukční návrh nástroje .....	47
3.6 Volba stroje .....	52
3.7 Povrchová úprava .....	53
3.8 Technologický postup .....	54
<b>4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	55
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	58

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

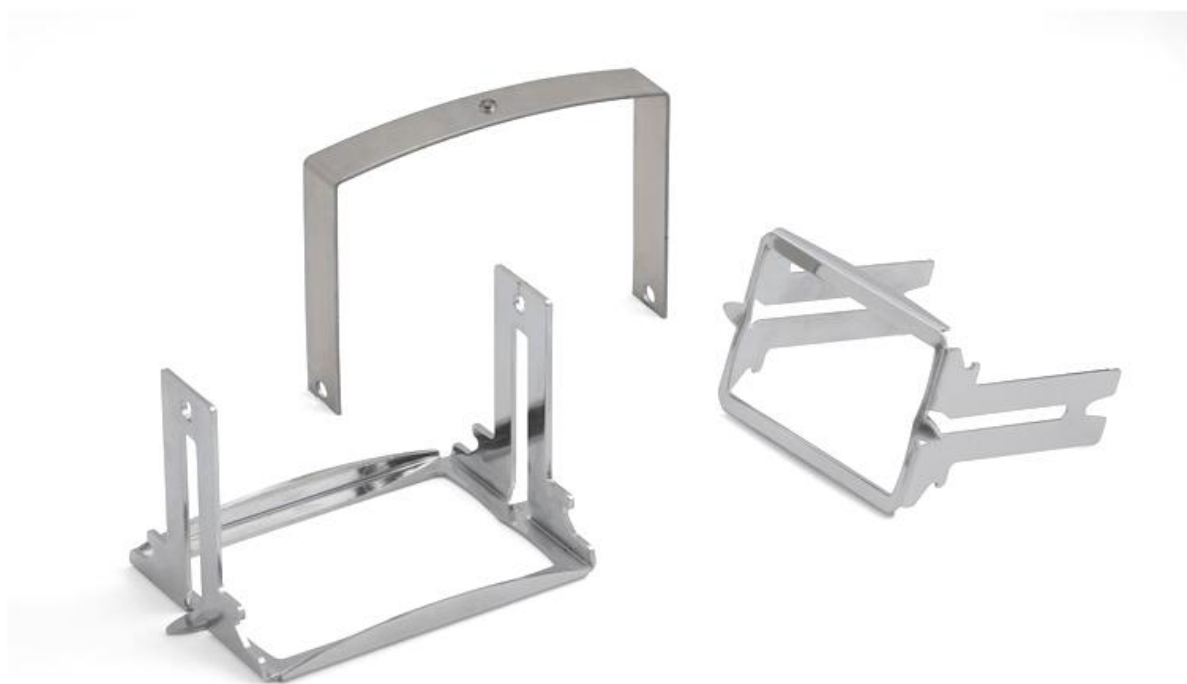


## ÚVOD [1], [2], [3]

Tváření kovů je proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru polotovaru v důsledku působení vnějších sil bez odběru odpadového materiálu ve formě třísek. Podle této definice je tváření lidstvem používáno již od vzniku prvních civilizací v době bronzové. Teoretický výzkum tvářecích procesů se však začal rozvíjet teprve ve dvacátých letech minulého století. V dnešní době již máme k dispozici výpočetní techniku, která umožňuje provádět simulace a matematický popis dějů probíhajících v materiálu během tváření s relativně vysokou přesností a spolehlivostí.

Jednou z charakteristických předností tváření je pozitivní ovlivňování struktury a mechanických vlastností zpracovávaného materiálu. Mezi další výhody, například ve srovnání s obráběním nebo svařováním, patří vysoká produktivita výroby, hospodárnější využití kovu a velmi dobrá rozměrová přesnost součástí. Konkurenci pro tváření může často představovat také technologie tlakového lití, u které lze dosahovat ještě vyššího procentuálního využití materiálu i vyšší produktivity. Výhodami tváření oproti této metodě jsou pak obvykle nižší nároky na výrobu nástroje a menší energetická náročnost.

Díky zmíněným výhodám nacházejí součásti vyrobené technologiemi plošného tváření (obr. 1) časté uplatnění jak na předmětech každodenní potřeby, tak ve vysoce specializovaných přístrojích, například pro kosmický průmysl. Široká škála aplikací a s tím související tvarová a rozměrová různorodost těchto výrobků s sebou nesou také požadavky na vývoj nových specifických výrobních technologií plošného tváření.



Obr. 1 Výlisky z plechu [4]

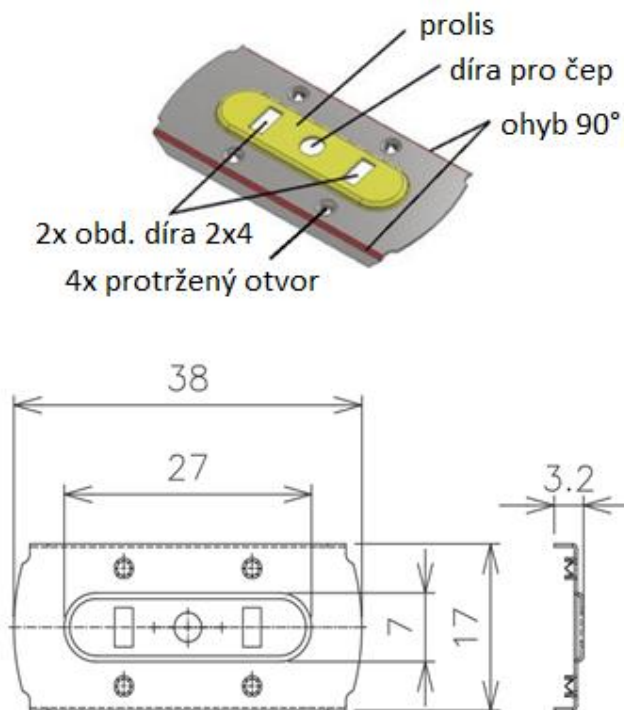
## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [5], [6], [7]

Řešenou součástí je zámek skládacího metru, viz obr. 2. Jak název napovídá, slouží k aretaci sousedících částí (dřevěných lamel) metru v přímé poloze. Jedná se o součást malých rozměrů a relativně komplikovaného tvaru. Výrobní série činí 100 000 ks/rok.



Obr. 2 Schéma umístění součásti na skládacím metru

Jednotlivé tvarové prvky jsou zvýrazněny na obrázku 3. Středovou dírou o průměru 3 mm prochází čep, kterým jsou dvě sousedící lamely metru spojeny a kolem něhož probíhá jejich vzájemné otáčení. Dalším tvarovým prvkem na součásti je mělký prolis. Ten plní právě samotnou aretační funkci, a to tím, že při každém otočení o  $180^\circ$  z výchozí zamčené polohy přesně zapadá do prolisu, který je vytvořen v opačném smyslu na protikus. U některých skládacích metrů je čep při montáži na povrchu jedné z lamel roznýtován v zamčené poloze. To zajistí, že při pootočení lamel a tím způsobeném rozpojení prolisů vzniká napětí, které vrací díly zpět do zamčené polohy, jakmile to vzájemná poloha opět umožní. Zadaná součást je však určena k použití u metrů, které mají do mechanismu tohoto kloubu vloženou ještě kalenou ocelovou pružinu, viz obr. 2. Roznýtováním čepu jsou potom spojeny pouze jednotlivé kovové díly, nikoliv dřevěné lamely. To je výhodné proto, že hlava čepu nevystupuje na povrch a nepřerušuje tak stupnici metru. Stlačení pružiny zajišťuje potřebné napětí ve spoji. Na delších stranách součásti je umístěn ohyb ve tvaru U, do něhož je při montáži vložena dřevěná lamela metru. Pro její pevné spojení s kovovým kloubem je opatřena zkosením na bocích, přes která jsou ramena ohybu přehnuta do ostrého úhlu. Hroty na protržených otvorech zapíchnuté do dřeva zajišťují součást proti posuvnému pohybu.



Obr. 3 Popis a základní rozměry součásti

Přesto, že v dnešní době jsou skládací metry v mnoha praktických využitích nahrazeny metry svinovacími a laserovými měřidly, stále jsou několika společnostmi ve velkém vyráběny a distribuovány do celého světa, kde nacházejí využití jak v řemeslné praxi, tak jako reklamní předměty.

Pro výrobu součásti je navržen materiál ČSN 41 1321. Ekvivalentní označení této oceli jsou například DC01 dle EN 10027-1, 1.0330 dle EN 10027-1, či St 12 dle DIN. Polotovarem je tedy za studena válcovaný plech o tloušťce 0,3 mm. Ocel DC01 je vhodná k tváření za studena, středně hlubokému tažení, lakování, či pokovování. Uvedené mechanické vlastnosti v tabulce 1 odpovídají stavu dodání LC, tedy po žíhání a lehkém převálcování, a dané tloušťce. Povrchová úprava k zajištění ochrany proti korozi a požadovaných estetických vlastností je alkalické černění, kterým nejsou mechanické charakteristiky materiálu ovlivněny.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli DC01+LC, tl. 0,3 mm [6], [7].

Materiál	Ocel 11 321 (DC01+LC)				
Vlastnost	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Min. tažnost A80 [%]	Min. tažnost A50 [%]	Tvrдость HV
Hodnota	320	410	28	30	115

## 1.1 Variantní řešení výroby [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Při volbě vhodné technologie je v první řadě rozhodujícím faktorem vyrobitelnost všech tvarových prvků dané součásti při dodržení předepsaných tolerancí z materiálu o požadovaných mechanických vlastnostech. Důležité je ale zohledňovat také hospodárnost využití materiálu, produktivitu, spolehlivost a pořizovací náklady nástrojů a strojů, energetickou náročnost a mnoho dalších kvalit, či nedostatků jednotlivých technologií. Pro výrobu dané součásti nemá smysl posuzovat například technologie obrábění frézováním, která nevyhovuje z hlediska produktivity a využití materiálu, nebo technologii tlakového lití, která se používá pro produkci dílů z neželezných kovů a bylo by pro ni třeba navrhnout jiný materiál obdobných vlastností s nižší teplotou tavení.

První možnost, kterou lze pro výrobu součásti uvažovat, spočívá v první fázi v získání pouze rozvinutého plošného tvaru součásti dělením z plechového polotovaru. Na takto získaných kusech mohou být v další fázi vyrobeny prostorové tvarové prvky, v případě dané součásti tedy ohyb, prolis a protržené otvory. Druhá fáze, čili tváření těchto tvarových prvků, by probíhala zakládáním jednotlivých kusů do jednoduchých, či sdružených nástrojů.

K dělení rozvinutého plošného tvaru z plechového polotovaru v první fázi mohou být použity tyto technologie:

- Řezání vodním paprskem – je metoda založená na principu obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku (obr. 4). Dosažitelná průměrná aritmetická odchylka profilu je  $R_a 3,2$  a přesnost řezu je za určitých podmínek u špičkových strojů udávána až 0,02 mm na 1 m, běžně však přibližně  $\pm 0,2$  mm. Přednosti metody spočívají v naprosto studeném a kolmém řezu bez otřepů. Velikost řezné spáry se pohybuje v rozmezí 0,3 až 1,3 mm. Z pohledu výroby zadané součásti není technologií obvykle dosahováno dostatečné přesnosti a produktivity.



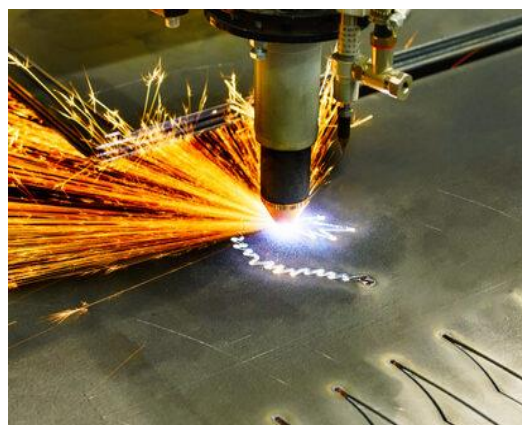
Obr. 4 Řezání vodním paprskem [9]

- Řezání laserem – je metoda využívající dopadu usměrněného a fokusovaného svazku fotonů na povrch řezaného materiálu (obr. 5). V důsledku vysoké koncentrace energie je difúze tepla z místa dopadu menší než ohřev materiálu a dochází k jeho tavení až sublimaci. Vzniká spára vyplněná roztaveným kovem, který je následně odstraněn prouděním řezného plynu. Specializovanými stroji lze dělit i velmi tenké folie, planžety a plechy od tloušťky 0,05 mm s přesností až  $\pm 0,01$  mm. Dalšími výhodami laserového řezání jsou vysoká řezná rychlost, kolmý řez a vysoká přesnost. Nevýhodou představuje tepelné ovlivnění materiálu.



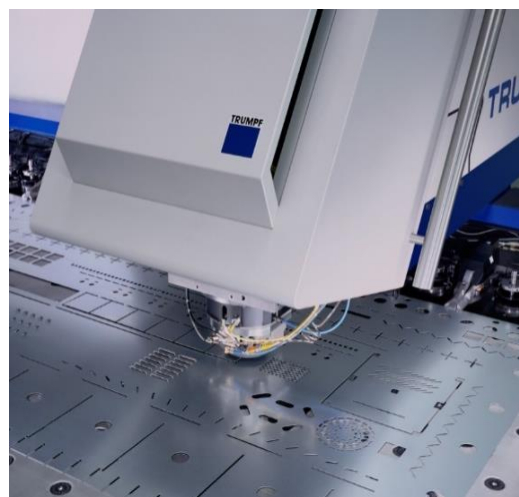
Obr. 5 Řezání laserovým paprskem [12]

- Řezání plazmou – je metoda, jejímž základním principem je odtavování a odpařování materiálu paprskem plazmy, který vystupuje vysokou rychlostí z plazmového hořáku (obr. 6). Plazmou je označována plynná směs volných elektronů, pozitivně nabitých iontů o vysoké teplotě. Pro materiály menších tloušťek než 2 mm se používá tzv. mikroplazma, která se odlišuje nižší proudovou intenzitou do 20 A. Nevýhoda metody spočívá podobně jako v případě laserového řezání ve vzniku tepelně ovlivněné oblasti. Použití této technologie je výhodné spíše pro větší tloušťky materiálu a pro výrobu dané součásti nedisponuje dostatečnou přesností.



Obr. 6 Řezání plazmou [14]

- Vysekávání na CNC strojích – je technologie spočívající v děrování a vystřihování jednoduchých geometrických tvarů kolem kontury výsledného kusu. Moderní CNC vysekávací stroje (obr. 7) již však v dnešní době umožňují také tváření prolisů, či krátkých ohybů. Kvůli malým rozměrům a tvarové složitosti součásti by ale nejspíše nebylo možné zhotovit všechny tvarové prvky součásti pouze na takovémto stroji, proto je zde tato technologie zařazena do výčtu metod výroby plošného tvaru. Vysekávání zaručuje přesnost  $\pm 0,1$  mm. Výhodami jsou vysoká možnost automatizace a flexibilita, nevýhodami pak vysoké pořizovací náklady na stroj a široká sada tvářecích nástrojů.

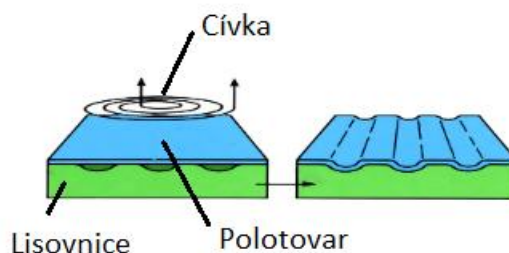


Obr. 7 CNC vysekávací stroj [15]



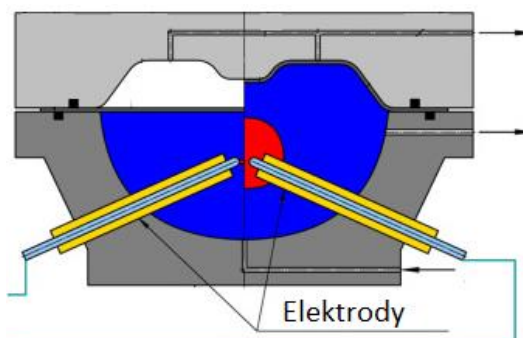
Pro první možnost výroby následuje po zhotovení rozvinutého polotovaru jednou z popsaných technologií ještě druhá fáze, tedy tváření prostorových tvarových prvků. Zde lze uvažovat o použití těchto technologií:

- Magneticko-impulsní tváření – pracuje na principu indukce magnetického pole vysoké intenzity kolem cívky po impulsním vybití kondenzátoru. Toto pole urychluje vodivý polotovar směrem k nástroji. V okamžiku dosednutí na lisovnici dosahuje dílec rychlostí 200 až 300 m.s<sup>-1</sup>. Tato technologie se uplatňuje především u zužování, či expanzi trubek, avšak při použití ploché spirálové cívky (viz obr. 8) jí lze tvářet právě prolisy, ohyby, či vystřihovat díry na dílcích menších rozměrů. Výhodami jsou konstrukční a provozní jednoduchost, spočívající v použití pouze jednoho pevného nástroje a absenci pohyblivých částí. Nevýhody pak představují poruchovost, složitost elektrického obvodu a vysoká energetická spotřeba.



Obr. 8 Princip magneticko-impulsního tváření [17]

- Elektrohydraulické impulsní tváření – pracuje na podobném principu jako magneticko-impulsní tváření. Rozdíl spočívá v tom, že polotovar je zde k nástroji urychlován pulsy generovanými elektrickými výboji o vysokém napětí, které se šíří v kapalném prostředí (obráz. 9). Jako nevýhoda zde tedy přibývá nutnost zohlednit těsnění kapaliny při konstrukci nástroje. Výhodou je snadná regulace potřebné energie. Technologie se používá zejména pro tváření rozměrnějších dílů, jako alternativa ke tváření výbuchem, oproti kterému disponuje hlavně vyšší bezpečností. Vzhledem k tomu, že se jedná o velice dynamický tvářecí proces, bylo by při návrhu výroby nutné uvažovat tomu odpovídající materiálové modely.



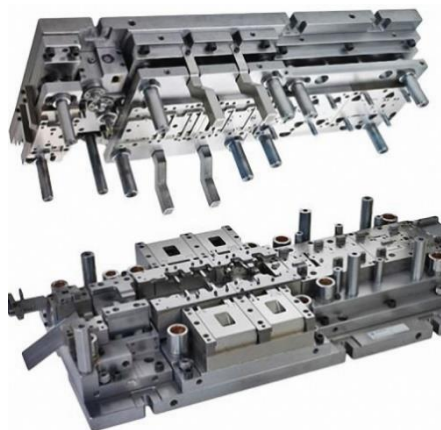
Obr. 9 Princip elektrohydraulického impulsního tváření [18]

- Konvenční tváření pevným nástrojem – plastická deformace je dosažena přímým působením kontaktních napětí mezi funkčními plochami nástrojů a plechu (obráz. 10). Nástroje se skládají z horní a dolní části. Na pohyblivé horní části jsou umístěny lisovníky a na dolní lisovnice. Funkční části, nejčastěji z ocelí či ze slinutých karbidů, se vzájemně přibližují na požadovanou vzdálenost a výsledný tvar součásti odpovídá tvarům funkčních ploch. Jednotlivé tvarové prvky mohou být vyráběny zvlášť na jednoduchých nástrojích, případně může být více technologií na nástroji sdruženo pro zvýšení produktivity. Metoda je výhodná z hlediska spolehlivosti a dostupnosti potřebných zařízení.



Obr. 10 Příklad pevného nástroje [19]

Ačkoliv je součást popsanými technologiemi první možností, tedy výrobou ve dvou fázích, zhotovitelná, z hlediska produktivity výroby je výrazně nevýhodná, zejména kvůli nutnosti zakládání jednotlivých dílců do jednoduchých nebo sdružených nástrojů ve druhé fázi. Jako alternativa se nabízí možnost tváření plechového pásu ve sdruženém postupovém nástroji (obr. 11). Pásové polotovary je možné získat podélným, nebo příčným rozstříháním tabule plechu. Vyššího procentuálního využití materiálu je však obvykle dosahováno při použití svitku pásky, jejíž zavádění do postupového nástroje lze navíc automatizovat pomocí odvíjecího a rovnacího zařízení (obr. 12).



Obr. 11 Sdružený postupový nástroj [20]



Obr. 12 Odvíjecí a rovnací zařízení [21]

Vzhledem k popsaným výhodám a nevýhodám jednotlivých možností výroby a také s ohledem na malé rozměry, tloušťku plechu a tvarovou složitost součásti se pro sériovou výrobu jeví jako jediná vhodná druhá možnost, tedy technologie tváření ve sdruženém postupovém nástroji. Do něj budou umístěny všechny lisovníky a lisovnice, potřebné ke zhotovení požadovaného finálního tvaru součásti z pásového polotovaru. První možnost výroby ve dvou fázích lze však také využít pro výrobu prototypu a následné posouzení funkčnosti dílu ještě před nákladnou výrobou samotného postupového nástroje. Z popsaných technologií je pro výrobu prototypu nejvýhodnější použití laseru v první fázi a pevného nástroje ve fázi druhé.

## 2 ROZBOR POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ [2], [22]

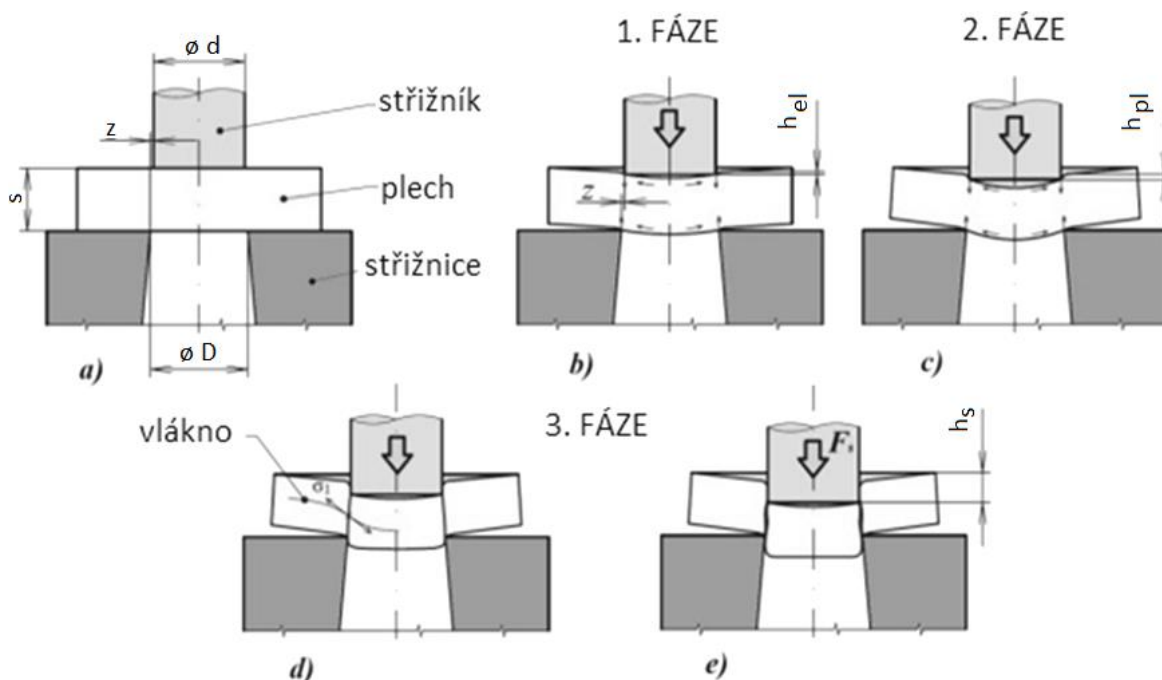
Pro výrobu součásti bylo zvoleno použití sdruženého postupového nástroje, ve kterém budou v jednotlivých krocích realizovány operace plošného tváření všech tvarových prvků výlisku. Plošné tváření je proces, při kterém je polotovár plasticky deformován vlivem napětí vzniklého od působící síly nástroje. Na rozdíl od objemového tváření k plastické deformaci nedochází v celém objemu vyráběného dílu, ale pouze ve vymezené části. Přetvoření materiálu může být dosaženo různými metodami, z nichž ke zhotovení zadaného zámku skládacího metru je zapotřebí použití stříhání, ohýbání a ražení.

### 2.1 Stříhání [3], [23], [24], [25], [26]

Technologie stříhání je základní a nejrozšířenější způsob dělení plechových polotovarů. Přestože dochází k porušení soudržnosti materiálu a průvodní jev plastické deformace je nežádoucí, řadí se do plošného tváření. To je zdůvodněno úzkou souvislostí s ostatními tvářecími technologiemi ve strojírenské praxi, kde bývají střížné operace realizovány na tvářecích strojích a sdružovány například s ohýbáním nebo tažením do stejného nástroje.

K oddělení materiálu dochází buď postupně, nebo současně působením střížných hran podél křivky stříhu, dané tvarem výstřižku, střížníku a střížnice. Může mít tvar přímky, nebo otevřené, či uzavřené křivky.

V průběhu procesu stříhání lze rozlišit tři základní fáze znázorněné na příkladu vystřihování na obrázku 13. První fáze začíná po dosednutí střížníku (obr. 13a), kdy jeho vníkaním do povrchu materiálu do hloubky „ $h_{el}$ “ vzniká dvojice sil mezi hranami střížníku a střížnice, která způsobuje pružnou deformaci a nežádoucí ohyb (obr. 13b). Ve druhé fázi je střížník dále vtlačován do plechu a ten do otvoru střížnice až napětí překročí mez kluzu a dojde k plastické deformaci (obr. 13c). Hloubka vniknutí v této fázi, značená „ $h_{pl}$ “ odpovídá 10 až 25 % tloušťky plechu.



Obr. 13 Fáze střížného procesu [3]

Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu. Na hranách začnou vznikat trhlinky neboli nástřih, jehož růst je podporován tahovým normálovým napětím (obr. 13d). Rychlým šířením trhlin dojde k utržení materiálu neboli stříhu. Výstřížek je oddělen dříve, než střížník projde celou tloušťkou materiálu (obr. 13e). Rychlost vzniku a šíření trhlin a potřebná hloubka vniknutí střížných hran „ $h_s$ “ závisí především na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. K oddělení tvrdého a křehkého materiálu může docházet již při hloubce vniknutí odpovídající desetině tloušťky plechu, naopak v měkkých a houževnatých materiálech dochází ke vzniku a šíření trhlin velmi pomalu a hloubka vniknutí může přesahovat polovinu tloušťky materiálu.

Významný vliv na hloubku vniknutí a další parametry procesu má také velikost střížné mezery „ $z$ “, respektive střížné vůle „ $v$ “, která je součtem střížných mezer po obou stranách střížníku při uzavřeném stříhání. Při stříhání s normální střížnou vůlí se trhliny vzniklé po nástřihu šíří tak, že se v okamžiku stříhu setkají, viz obr. 14b. Příliš malá střížná vůle (obr. 14a) zvyšuje střížnou sílu a práci a zhoršuje kvalitu střížné plochy, naopak částečně zmenšuje nežádoucí ohyb a velikost otřepu. Příliš velká vůle (obr. 14c) má pak za následek zvětšení deformací v prvních dvou fázích stříhání a tím opět zvýšení střížné síly, dále zvýšené namáhání střížných hran bočními silami a vznik velkých otřepů. Optimální velikost střížné mezery se stanovuje jako 2 až 5 % tloušťky plechu. Pro zahrnutí vlivu vlastností stříhaného materiálu lze pro plechy do tloušťky 3 mm využít také vztahu:

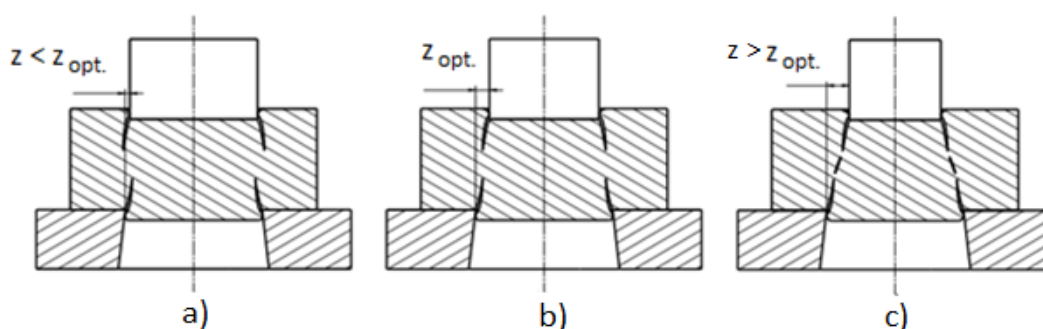
$$z = c \cdot t \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde:  $c$  – koeficient ( $0,005 \div 0,035$ ) [-],

$t$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm],

$\tau_s$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa].

Z rozsahu hodnot koeficientu „ $c$ “, je vhodné volit nižší čísla při zvýšených nárocích na kvalitu střížné plochy. Volba minimálního rozměru střížné mezery je výhodná také z hlediska opotřebení nástrojů, jehož vlivem se mezera zvětšuje. Naopak větší rozměry střížné vůle jsou výhodnější kvůli snížení hodnot potřebné síly a práce a také kvůli zvýšení životnosti nástrojů.

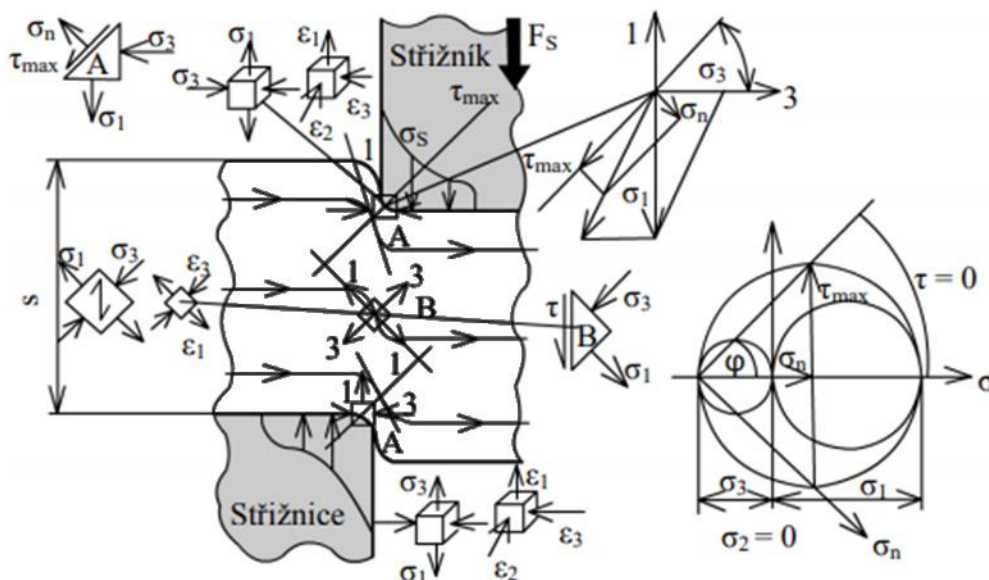


Obr. 14 Vliv střížné vůle na proces stříhání [25]

Stav napjatosti v jednotlivých místech střížné roviny při uzavřeném stříhání je znázorněn na obrázku 15. V průběhu pronikání střížných hran do plechu jsou jednotlivé podélné vrstvy natahovány a výrazně se mění jejich křivost. Na krychlový element v bodech A, tedy těsně pod hranou střížníku a nad hranou střížnice, působí tahové hlavní napětí „ $\sigma_1$ “ a tlakové hlavní napětí „ $\sigma_3$ “, které je přibližně rovno polovině „ $\sigma_1$ “. Je tedy uvažován přibližně rovinný stav napjatosti. Zejména při stříhání tenkých plechů však může být v těchto bodech patrná také přítomnost velmi malého hlavního napětí „ $\sigma_2$ “, které má u střížníku tahový a u střížnice tlakový charakter. I při předpokladu, že „ $\sigma_2$ “ je zanedbatelné, složka deviátoru napětí „ $D\sigma_2$ “ a střední napětí jsou v bodě A nenulové, proto se zde nachází prostorový stav deformace. Směrem do střední oblasti střížné roviny se působení napětí blíží čistému smyku, až do bodu B. Zde je hlavní napětí „ $\sigma_2$ “ nulové a velikost tahového hlavního napětí „ $\sigma_1$ “ je rovna absolutní hodnotě tlakového hlavního



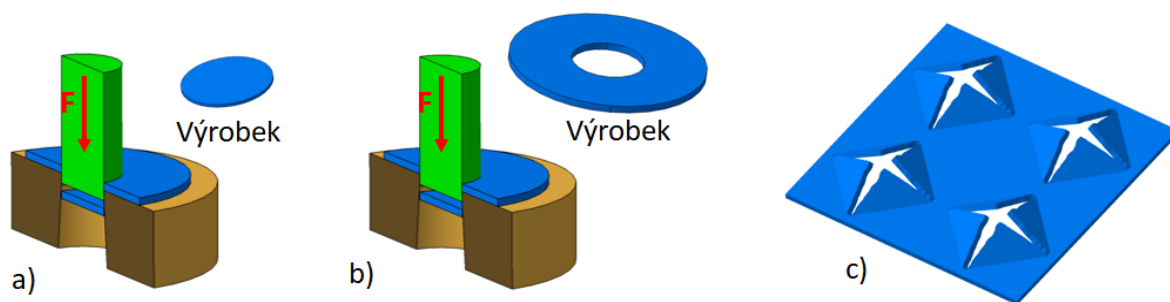
napětí „ $\sigma_3$ “, proto se zde nachází také rovinný stav deformace. Jak je znázorněno vektorovým součtem v obrázku 15, kolmo na rovinu maximálního smykového napětí působí tahová normálová složka „ $\sigma_n$ “, která se podílí na rozevírání, a tím rychlejším šíření trhlin vzniklých po nástřihu ve třetí fázi stříhání. Vlivem zmíněného natahování a výrazné změny křivosti podélných vrstev materiálu dochází také ke změně natočení roviny hlavního smykového napětí na jednotlivých vrstevnicích. Následkem toho vzniká střížná plocha typického tvaru písmene „S“.



Obr. 15 Napjatost na střížné rovině při uzavřeném stříhání [3]

Při zpracování plechů lze rozlišit velké množství operací pracujících na principu stříhání, z nichž použitelné pro zvolený typ výroby zadané součásti jsou:

- děrování (obr. 16a) – výroba děr různých tvarů, kde vystřižená část tvoří odpad,
- vystřihování (obr. 16b) – křivka stříhu je uzavřená, vystřižnutá část je výstřížek,
- prothávání (obr. 16c) – vytvoření otvorů, výstupků a hrotů, přičemž se přebytečný materiál nevystřihne, ale ohne.



Obr. 16 Příklady střížných operací [25]

### 2.1.1 Síly a práce v procesu stříhání [3], [24], [26], [27]

Nejdůležitější síla procesu stříhání, jejímž působením je zapříčiněno samotné oddělení materiálu, se nazývá střížná síla. Aby došlo ke stříhu, musí být její velikost dostatečná k překonání deformačního odporu ve stříhu „ $\tau_s$ “. Ten bývá také označován jako střížný odpor, či pevnost ve stříhu, a udává odolnost materiálu vůči porušení stříháním. Střížný odpor je

závislý zejména na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a tvaru střížné plochy. Teoretickým odvozením jeho velikosti z podmínky plasticity HMH lze dospět ke vztahu:

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2.2)$$

Pro praktické výpočty zahrnující vliv střížného odporu může být jeho velikost stanovována v rozmezí 0,55 až 0,9 násobku meze pevnosti v tahu podle druhu materiálu a tloušťky stříhaného plechu. Nejčastěji je však používáno jeho přibližné vyjádření jako 80 % „ $R_m$ “.

V ideálním případě by bylo možné střížnou sílu stanovit jako součin střížného odporu a plochy, na kterou působí. Získání skutečné hodnoty střížné síly „ $F_s$ “ je však podmíněno jejím zvýšením při zahrnutí vlivu vnějších podmínek podle vztahu:

$$F_s = n \cdot S_s \cdot \tau_s \text{ [N]}, \quad (2.3)$$

kde:  $n$  – koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek, především zhoršení kvality střížných hran, obvykle volen v rozmezí 1,1 ÷ 1,3 [-],

$S_s$  – střížná plocha daná vztahem:

$$S_s = L \cdot t \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.4)$$

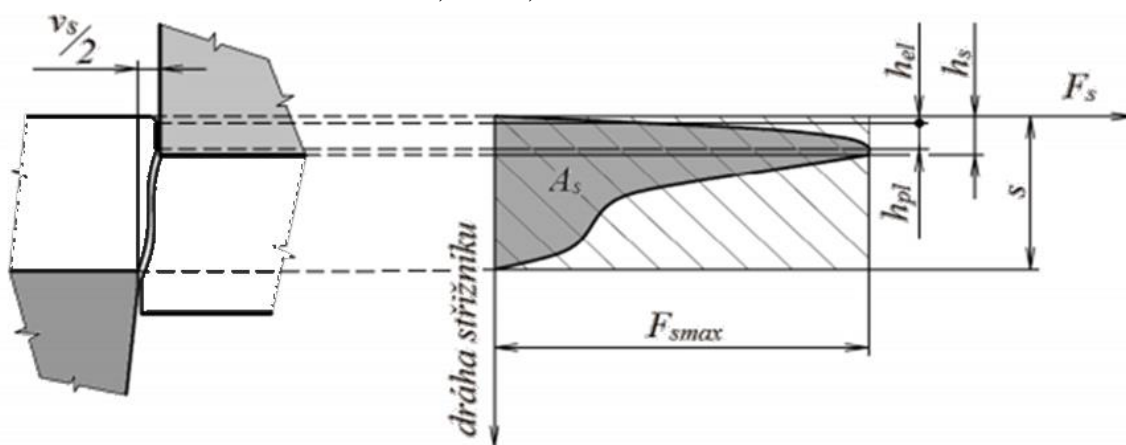
kde:  $L$  – délka křivky stříhu [mm].

Další důležitou veličinou charakterizující proces stříhání je střížná práce. Je dána plochou pod křivkou závislosti střížné síly na dráze střížníku, viz obr. 17. Průběh síly odpovídá jednotlivým fázím stříhání. Nejprve lze pozorovat strmý nárůst v oblastech pružné a plastické deformace až do vzniku prvních trhlinek, kde je dosaženo maxima. Po oddělení materiálu následuje rychlý pokles, který je zpomalen v pásmu otěru, kde dochází ke tření mezi střížníkem a materiálem. Stanovení matematické funkce dané závislosti a následný výpočet práce její integrací je prakticky neproveditelný. Pro zjednodušení je tedy zaveden vztah:

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot t \text{ [mJ]}, \quad (2.5)$$

kde:  $A_s$  – střížná práce [mJ],

$\lambda$  – součinitel plnosti diagramu [-], geometricky lze znázornit jako podíl vybarvené a šrafované plochy v diagramu závislosti síly na dráze, viz obr. 17, pro středně tvrdé oceli ( $\tau_s = 350$  až 500 MPa) do tloušťky 2 mm lze volit v rozsahu 0,55 ÷ 0,75.



Obr. 17 Průběh střížné síly [27]

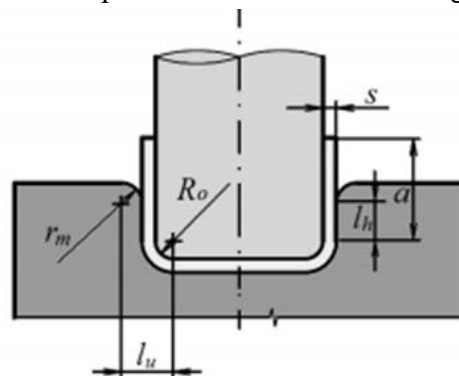
Průvodním jevem děrovacích a vystřihovacích operací je zaseknutí prostříženého materiálu na střížníku při jeho zpětném pohybu v důsledku zániku elastických deformací, tedy odpružení, a tím způsobeném zmenšení rozměrů otvoru. Zaseknutý materiál je třeba setřít. Velikost potřebné stírací síly „ $F_{st}$ “ je závislá zejména na vlastnostech a tloušťce materiálu, stříhaném tvaru, střížné mezeře a způsobu a druhu mazání. Přibližně lze její hodnotu určit vztahem:

$$F_{st} = c_s \cdot F_s \text{ [N]}, \quad (2.6)$$

kde:  $c_s$  – součinitel stírání [-], pro ocel do tloušťky 1 mm v rozmezí 0,02 ÷ 0,12.

## 2.2 Ohýbání [3], [23], [24], [28], [29]

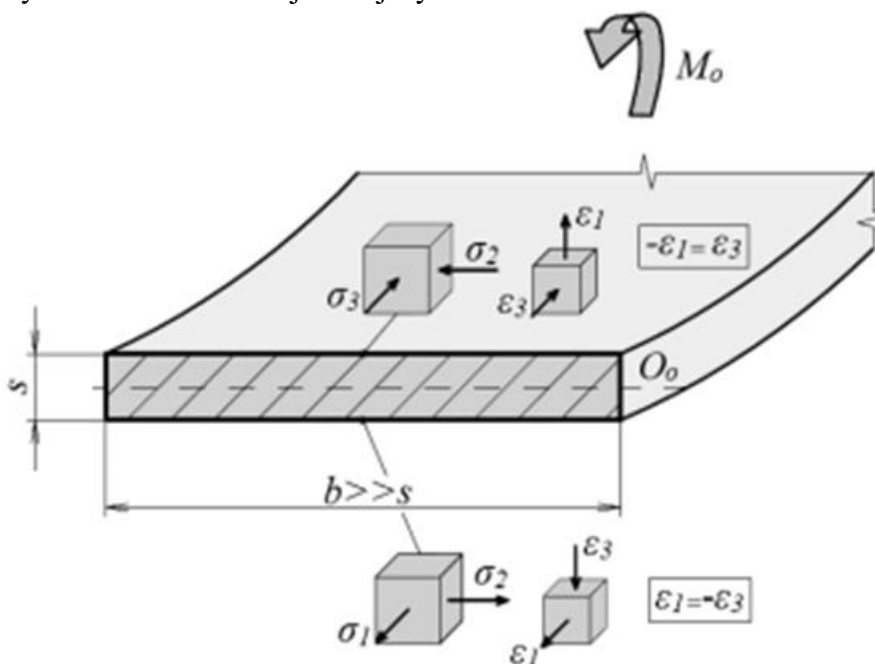
Během ohýbání dochází k trvalému přetváření materiálu v důsledku působení lokálních sil nebo ohybových momentů tak, že se mění křivost plechového polotovaru. Jde o technologii velmi často používanou také pro zpracování tyčí, trubek, či drátů. I samotné ohýbání plechů zahrnuje mnoho různých operací jako ohraňování, zakružování, obrubování, rovnání atd. Pro realizaci ohybu na zadané součásti je však podstatné zejména jednoduché ohýbání v nástrojích, kde výsledný tvar součásti je dán tvary funkčních částí nástrojů. Konkrétně pak ohyb do tvaru „U“. Jeho princip a základní parametry jsou znázorněny na obrázku 18. Nástroj je složen ze dvou částí, a to ohybníku a ohybnice, z nichž jedna část je pohyblivá a druhá pevná. Vtlačováním ohybníku do ohybnice dochází k samotnému tvarování plechu.



Obr. 18 Ohýbání do tvaru „U“ [28]

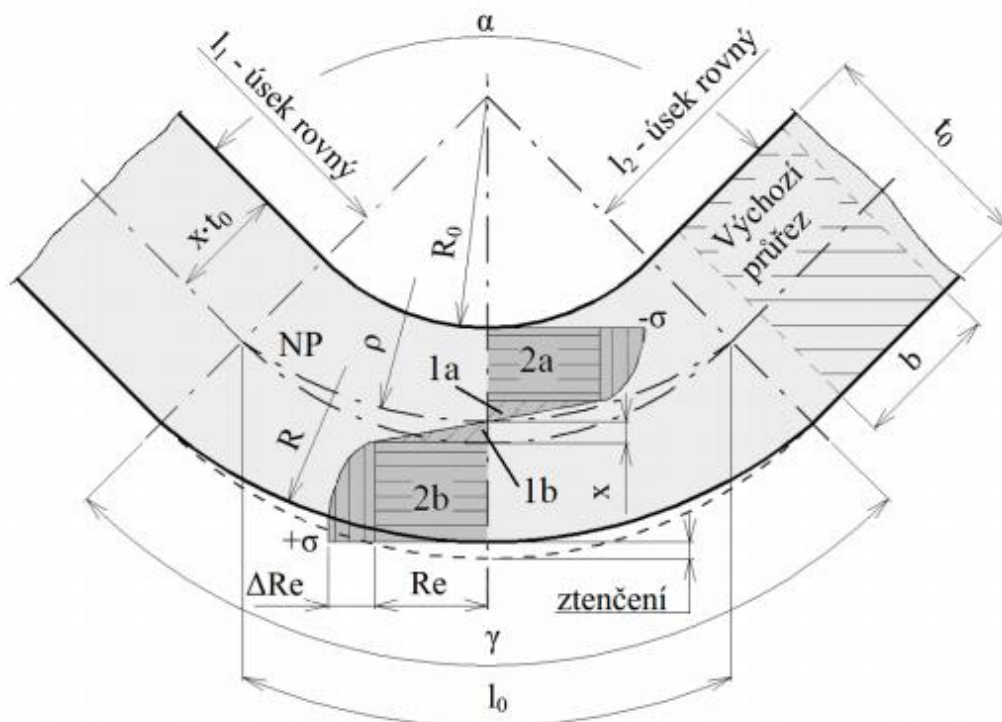
Proces lze rozdělit na několik základních fází. V první fázi dochází k elastické deformaci. Začíná dosednutím ohybníku na povrch plechu a končí v momentě, kdy napětí v krajních vláknech překročí mez kluzu. Tehdy začíná druhá fáze plastické deformace. Poslední fáze nastává v momentě plošného styku mezi plechem a ohybnicí na jedné straně a ohybníkem na straně druhé.

Z hlediska napjatosti lze v ohýbaném materiálu rozlišit dvě části. Na vnitřní straně je materiál stlačován, zatímco na straně vnější roztahován. Při ohýbání širokého pásu, jehož šířka je alespoň trojnásobkem jeho tloušťky, dochází k deformaci v příčném směru „ $\epsilon_2$ “ pouze v krajních vláknech. Na většině vnitřní i vnější plochy je tedy předpokládán rovinný stav přetvoření, kdy zbylé složky „ $\epsilon_1$ “ a „ $\epsilon_3$ “ budou nabývat stejných absolutních hodnot. Jelikož je hlavní napětí v kolmém směru velmi malé, lze ho zanedbat a v celém objemu uvažovat dvojosý stav napjatosti, jak je znázorněno na krychlových elementech na obrázku 19. Na vnitřní straně nastává dvojosý tlak a na straně vnější dvojosý tah.



Obr. 19 Schéma napjatosti při ohybu širokého pásu [3]

Při ohýbání tedy na průřezu nastává jak pružná, tak plastická deformace a vznikají oblasti tahového i tlakového napětí. Jeho průběh je znázorněn na obrázku 20. Oblasti 1a a 1b představují výskyt elastického přetvoření. Plastická deformace se pak nachází v oblastech 2a a 2b, přičemž schéma znázorňuje i vliv deformačního zpevnění „ $\Delta Re$ “ v těchto místech. S ohledem na obtížnost analytického popisu deformačního zpevnění se však v praxi při odvozování parametrů ohýbacího procesu uplatňují ideální materiálové modely buď tuho plastické, nebo pružně plastické bez zpevnění.



Obr. 20 Průběh napětí a deformace průřezu [29]

Jak je z obrázku patrné, existuje oblast přechodu mezi tahovou a tlakovou částí, kde je napětí nulové, tzv. neutrální plocha (NP). Její poloha se ve skutečnosti mění v závislosti na ztenčení, v praxi ji však lze definovat poloměrem „ $\rho$ “. Je stanovován odlišně v závislosti na typu ohýbaného polotovaru. V případě ohybu širokých pásů plechu, jejichž šířka je více než trojnásobkem tloušťky, pro jeho výpočet platí vztah:

$$\rho = R_0 + x \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.7)$$

kde:  $R_0$  – vnitřní poloměr ohybu, viz obr. 20 [mm].

$x$  – součinitel vyjadřující posunutí neutrální plochy [-], jeho hodnota se určuje dle tabulky 2.

Tab. 2 Závislost součinitele  $x$  na poměrném poloměru ohybu  $R_0/t$  [-] [29].

$R_0/t$	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Při výrobě ohýbaných součástí je důležité předem stanovit celkovou výchozí délku rozvinutého plechového polotovaru získaného stříháním, aby bylo na výsledné součásti dosaženo požadovaných rozměrů. Právě k jejímu určení slouží stanovený poloměr neutrální osy, přičemž postup spočívá nejprve v rozdělení součásti na jednotlivé přímé úseky o daných

délkách. K jejich součtu je dále třeba přičíst délky všech ohnutých úseků v neutrálních plochách, viz vztah:

$$l_c = l_1 + l_2 + \dots + l_n + l_{o1} + l_{o2} + \dots + l_{o(n-1)} \text{ [mm]}, \quad (2.8)$$

kde:  $l_c$  – délka rozvinutého polotovaru [mm],

$l_i$  – délky přímých úseků [mm],

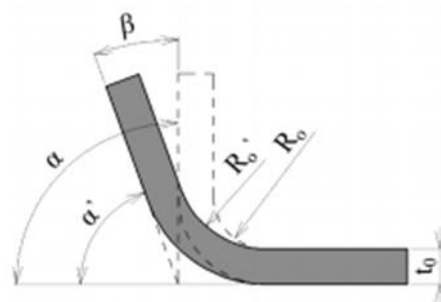
$l_{oi}$  – délky ohnutých úseků v neutrálních plochách [mm], dány vztahem:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \text{ [mm]}, \quad (2.9)$$

kde:  $\gamma$  – úhel ohnutého úseku [°]

## 2.2.1 Odpružení a poloměr ohybu [3], [24], [29], [30]

Vzhledem k přítomnosti vratných pružných deformací v místě ohybu musí po odtížení ohýbací silou nutně dojít k nežádoucímu odpružení. Projevuje se změnou úhlu ohybu od požadovaného „ $\alpha$ “ na „ $\alpha'$ “, jejichž rozdíl je úhel odpružení „ $\beta$ “, viz obr. 21. Současně dochází ke změně dosažené křivosti, respektive ke zvětšení poloměru ohybu. V jeho důsledku se výsledný tvar součásti přesně neshoduje s tvarem nástroje. Velikost odpružení je závislá především na kvalitě materiálu, tloušťce plechu, poloměru ohybu, úhlu ohybu a způsobu ohýbání (v tomto případě do tvaru „U“). Pro přibližný výpočet úhlu odpružení se v technické praxi používá řada empirických vztahů a diagramů. Pro ohyb do tvaru „U“ lze použít například vzorec:



Obr. 21 Schéma odpružení [30]

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \rightarrow \beta \text{ [°]}, \quad (2.10)$$

kde:  $l_u$  – vzdálenost mezi středy zaoblení ohybnice a ohybníku [mm]; dáno vztahem:

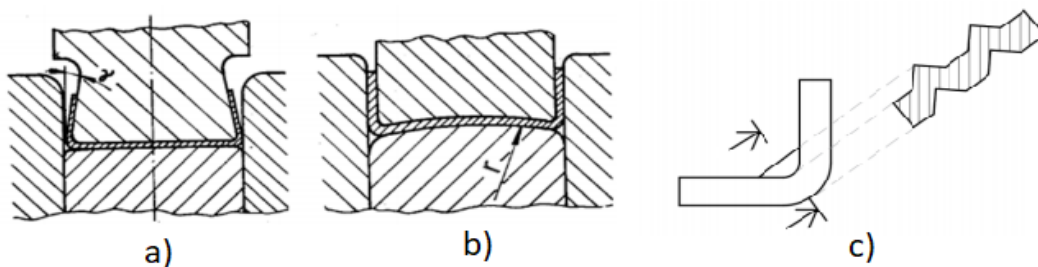
$$l_u = R_o + r_m + 1,2 \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.11)$$

kde:  $r_m$  – poloměr zaoblení ohybnice [mm],

$k$  – součinitel určující polohu neutrální plochy tabelovaný v závislosti na  $R_o/t$  [-], rozsah hodnot 0,5 až 0,68, případně lze použít vztah:

$$k = 1 - x \text{ [-]}. \quad (2.12)$$

K eliminaci, nebo částečnému snížení úhlu odpružení jsou používány různé metody. Nejčastější je použití kalibrace, tedy zvýšení síly na konci ohýbání, případně se provádí konstrukční úprava nástrojů (obr. 22), jako podbroušení ohybníku o úhel odpružení, zaoblení spodní strany ohybníku, či zpevnění ohybu výztužným žebrem.



Obr. 22 Metody eliminace odpružení:

a) podbroušení ohybníku, b) zaoblení ohybnice, c) výztužná žebra [31]

Důležitým faktorem, nejen z hlediska odpružení, je správná volba poloměru ohybu „ $R_o$ “. Zejména je potřeba stanovit jeho minimální hodnotu „ $R_{min}$ “. Podstatná je kvůli bezpečnosti vůči vzniku trhlin v materiálu na vnější tahové straně, ke kterému dochází při zmenšení poloměru ohybu pod tuto hodnotu. Po dosažení meze pevnosti v tahu v těchto krajních vláknech nastává porušení lomem. Velikost minimálního poloměru ohybu je závislá zejména na plastičnosti materiálu, anizotropii vzniklé v průběhu válcování, způsobu ohýbání, úhlu ohybu, rozměrech polotovaru a kvalitě povrchu. Vzhledem k tomu, že se jedná o kritickou hodnotu, je v praxi využívána pouze v případech nutnosti. Obvyklá je pak volba hodnot „ $R_o$ “ o 20 % větších. Ke stanovení minimálního poloměru lze použít vztah:

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c_o \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.13)$$

kde:  $\varepsilon_{tmax}$  – trvalá poměrná deformace vyvolaná napětím na mezi pevnosti v krajních vláknech [-],

$c_o$  – součinitel [-], pro měkkou ocel volen v rozmezí  $0,5 \div 0,6$ .

Při ohýbání na velké poloměry pak může hrát roli také hodnota maximálního poloměru ohybu „ $R_{max}$ “, při kterém ještě v krajních vláknech dochází k trvalé plastické deformaci. Jeho překročení znamená přítomnost výhradně elastické deformace na celém průřezu materiálu a po odtížení se plech narovná do původního stavu. Nedojde tedy k tváření. Parametr nejspíše nebude mít pro výrobu zadané součásti velký význam, jeho hodnotu je případně možné určit vztahem:

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{E}{Re} - 1 \right) \text{ [mm]}, \quad (2.14)$$

kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa].

### 2.2.2 Síla a práce v procesu ohýbání [3], [24], [27], [32]

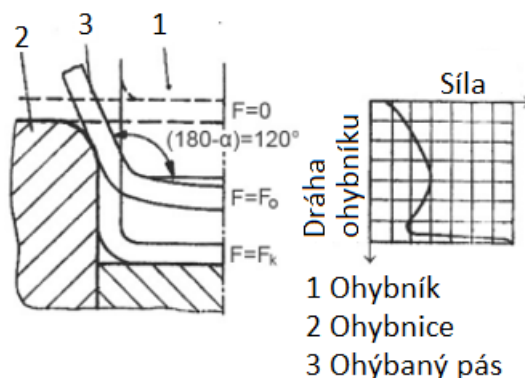
Proces ohýbání je realizován v důsledku působení ohýbací síly závislé na mnoha faktorech, zejména pak na mechanických vlastnostech materiálu, úhlu a způsobu ohybu. Při stanovení její velikosti se vychází z rovnosti ohybového momentu od vnějších sil a ohybového momentu od vnitřních sil. Pro praktické aplikace je pak uváděno velké množství vztahů pro její teoretický výpočet. Využít lze například vzorec pro ohýbání do tvaru „U“ dle normy ČSN 22 7340:

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot Re}{R_o + t} \text{ [N]}, \quad (2.15)$$

kde:  $f$  – součinitel tření [-], při mazání 0,1;

$b$  – šířka ohýbaného plechu [mm].

Průběh síly při ohybu do tvaru „U“ bez použití přidržovače je znázorněn na obrázku 23. Odpovídá jednotlivým fázím procesu ohýbání. Nejprve dochází k nárůstu síly v oblasti pružné deformace až do lokálního maxima, které nastává v momentě, kdy ramena ohybu svírají úhel přibližně  $120^\circ$ , a odpovídá právě ohýbací síle „ $F_U$ “. Následuje pokles síly v oblasti plastické deformace, přičemž některé zdroje uvádí mírný nárůst i v této oblasti (obr. 24). Po plošném dosednutí plechu na nástroje nastává fáze kalibrace, kdy dochází k velmi strmému nárůstu až na hodnotu kalibrační síly „ $F_K$ “, která může dosahovat hodnot v rozmezí dvoj až trojnásobku ohýbací síly „ $F_U$ “.



Obr. 23 Průběh ohybové síly [32]



Při použití ohybu s kalibrací a přidržovačem je stanovení velikosti celkové ohybové síly při ohýbání do tvaru „F<sub>CU</sub>“ provedeno dle vztahu:

$$F_{CU} = F_U + F_K + F_P \text{ [N]}, \quad (2.16)$$

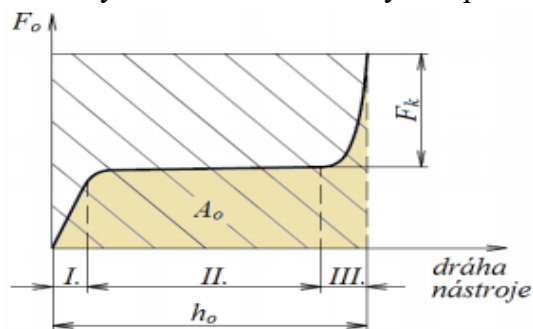
kde:  $F_P$  – síla přidržovače [N], přibližně 25 % ohybové síly  $F_U$ .

Ze znalosti síly a jejího průběhu v závislosti na dráze ohybníku lze určovat ohýbací práci. Její hodnota je definována jako plocha pod křivkou této závislosti (obr. 24). Výpočet je pak obdobně jako v případě střižné práce zjednodušen na vztah:

$$A_{CU} = F_{CU} \cdot \psi \cdot h \text{ [mJ]}, \quad (2.17)$$

kde:  $h$  – pracovní dráha ohybníku [mm],

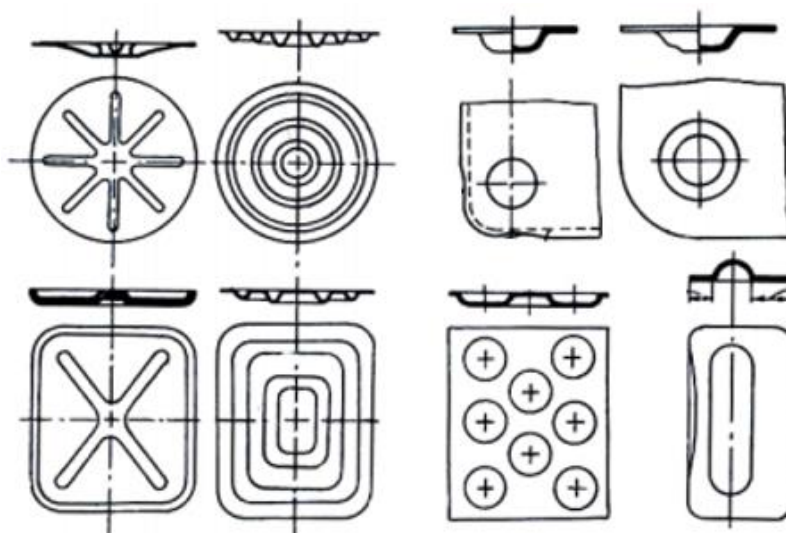
$\psi$  – koeficient plnosti diagramu ohýbání [-], podíl vybarvené a šrafované plochy v diagramu závislosti síly na dráze, viz obr. 24, pro ohyb do tvaru „U“ volen v rozmezí 0,5 až 0,65.



Obr. 24 Znáznornění ohybové práce a součinitele plnosti diagramu [27]

## 2.3 Ražení [24], [33], [34], [35]

Princip ražení spočívá v kompletním vyplnění prostoru mezi tvarovým razníkem a raznicí tvářeným plechem. V souladu s touto definicí je tímto termínem označována například technologie výroby mincí, nebo medailí v uzavřených razidlech. V případě zadané součásti však bude tato metoda použita k vytvoření mělkého prolisu a lze ji v podstatě charakterizovat jako velmi mělké tažení polotovaru vedoucí ke vzniku místní prohloubeniny na jedné straně a vypoukliny na druhé straně plechu. Taková operace je pak označována také pojmy reliéfní přetváření, či žlábkování. Časté je využití ke zvýšení tuhosti rovného plechového dílu, přičemž tvarové prvky mohou být realizovány v různých tvarových provedeních, viz obr. 25.



Obr. 25 Příklady tvarových prvků zhotovených reliéfním přetvářením [34]

V průběhu procesu ražení nedochází k velkým stupňům přetvoření, přesouvání velkého objemu materiálu ani zvlnění příruby, jako je tomu u klasického tažení, proto nebývá zapotřebí použití přidržovače. Vzhledem k zanedbatelné změně rozměrů není nutný ani výpočet rozvinutého tvaru.

Potřebná razicí síla je závislá především na mechanických vlastnostech tvářeného materiálu, tloušťce plechového polotovaru a hloubce a ploše vyráběného prolisu. Pro její přibližný výpočet lze použít například vztah:

$$F_R = L_P \cdot t \cdot R_m \cdot k_R \text{ [N]}, \quad (2.18)$$

kde:  $F_R$  – razicí síla [N],

$L_P$  – délka prolisu [mm],

$k_R$  – součinitel volený v rozmezí 0,7 až 1 [-].

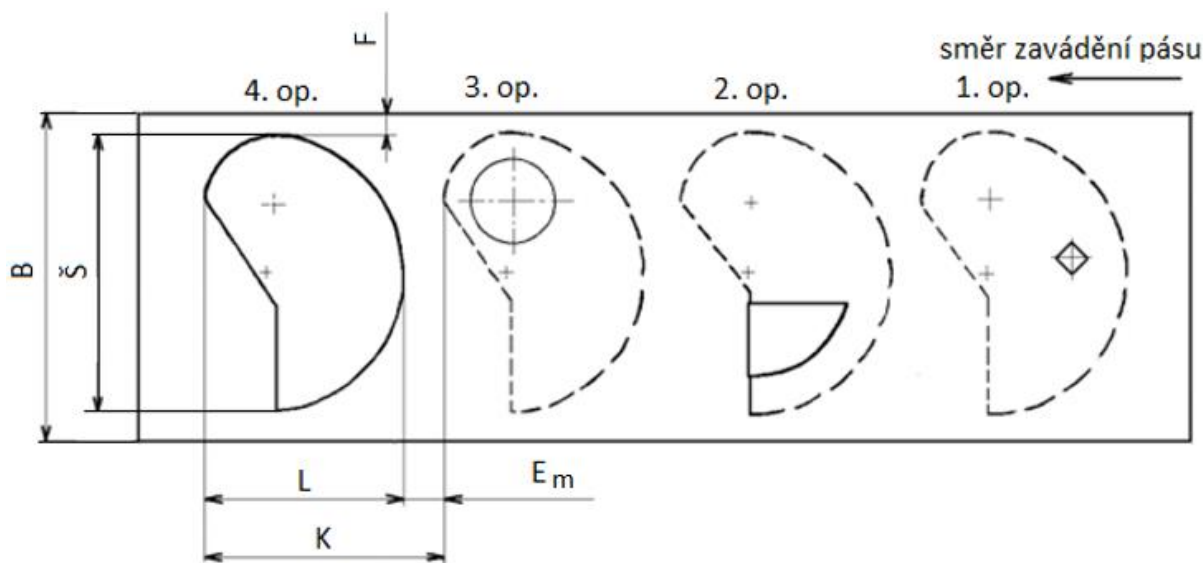
Při předpokladu přibližně lineárního růstu síly v závislosti na dráze razníku je možné razicí práci určit vztahem:

$$A_R = 0,5 \cdot F_R \cdot h_r \text{ [mJ]}, \quad (2.19)$$

kde:  $h_r$  – dráha razníku [mm].

## 2.4 Nástřihové plány [22], [23], [24], [36], [37], [38]

Zvolenou technologií tváření postupovým nástrojem jsou zhotovovány jednotlivé kusy z pásového polotovaru. Znázornění způsobu uspořádání výlisků na pásu plechu a sledu jednotlivých tvářecích operací na nich prováděných se nazývá nástřihový plán. Na obrázku 26 je znázorněn na příkladu výroby součásti ve čtyřech střížných operacích s vyznačením potřebných parametrů. Těmi jsou směr posuvu plechu, hlavní vnější rozměry dílu „Š“ a „L“, šířka pásu „B“, šířka můstku „ $E_m$ “, vzdálenost od okraje polotovaru „ $F$ “ a délka kroku „ $K$ “.



Obr. 26 Příklad nástřihového plánu [37]

Hodnoty parametrů „ $E_m$ “ a „ $F$ “ jsou voleny z tabulek nebo diagramů v závislosti na tvaru výsledného výstřižku, tloušťce polotovaru a nejdelším rozměru výstřižku, případně na šířce pásu plechu. Příklad tabulky pro volbu parametrů nástřihového plánu je uveden v příloze 1.

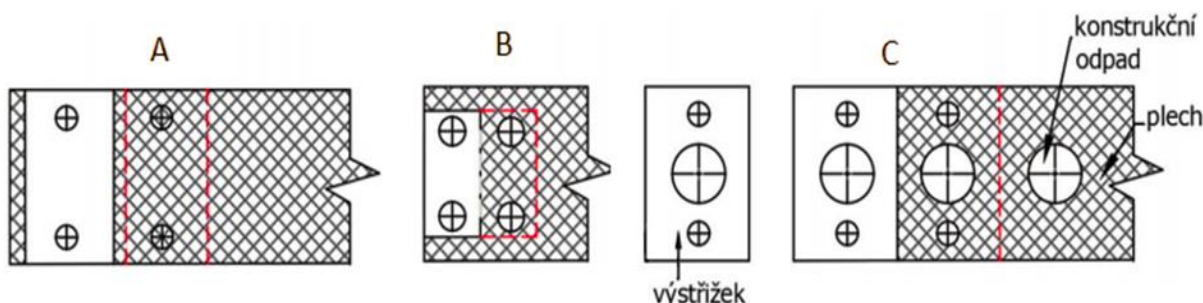
Používá se několik základních způsobů rozmístění výlisků na pásu, přičemž nejdůležitějším cílem je najít takové, které má pro konkrétní součást nejlepší procentuální využití materiálu. To by nemělo být nižší než 60 %.

Odpad vzniklý střížnými operacemi lze rozdělit na dva druhy:

- odpad konstrukční – určen konstrukcí součásti a jeho množství nelze ovlivnit volbou nástřihového plánu,
- odpad technologický – tvořen okraji a můstky na polotovaru, jeho množství je dáno uspořádáním kusů na pásu, tedy nástřihovým plánem.

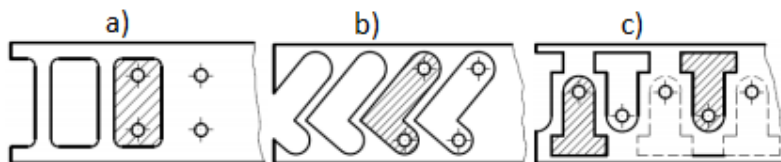


Snaha o minimalizaci množství technologického odpadu může v případech, kdy to dovoluje tvar a požadovaná přesnost výrobku, vést k použití speciálních typů nástřihových plánů. Prvním je plán bez postranního odpadu (obr. 27a), kde část obrysu součásti tvoří hrana pásového polotovaru. Další neobsahuje můstky (obr. 27b) a jednotlivé díly spolu tak přímo sousedí částí obrysu a poslední typ neobsahuje ani můstky ani postranní odpad (obr. 27c).



Obr. 27 Nástřihové plány pro minimalizaci technologického odpadu [24]

Další možností zvýšení využití materiálu je volba vhodné vzájemné orientace jednotlivých kusů na pásu. Z tohoto hlediska lze rozlišit nástřihové plány přímé (obr. 28a) pro součásti jednoduchých geometrických tvarů, šikmé (obr. 28b) pro výrobky tvaru „L“ a střídavé (obr. 28c) pro složité tvary, např. typu „P“ nebo „T“. Výlisky malých rozměrů vyráběné ve velkých sériích mohou být uspořádány do více řad (obr. 29).



Obr. 28 Druhy nástřihových plánů podle orientace výstřižků [39]

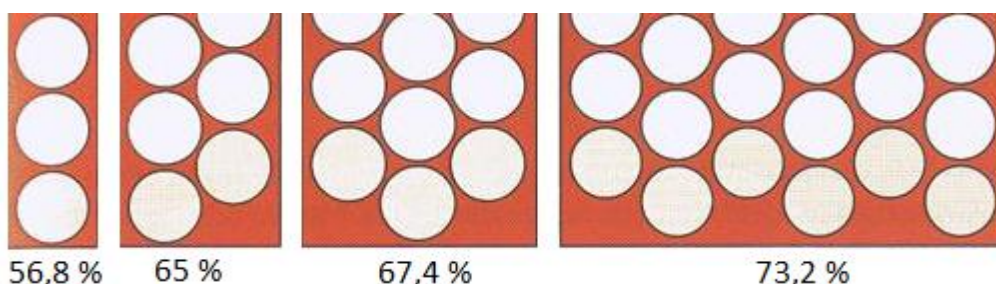
Pro kvantifikaci využití materiálu se používá vztah:

$$\eta = \frac{S_{\text{vys}}}{S_{\text{pol}}} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (2.20)$$

kde:  $\eta$  – využití materiálu [%],

$S_{\text{vys}}$  – plocha výstřižků [mm<sup>2</sup>],

$S_{\text{pol}}$  – plocha polotovaru [mm<sup>2</sup>].



Obr. 29 Víceřadá uspořádání a předpokládané využití materiálu [38]

#### 2.4.1 Těžiště sil [22], [24], [28]

Ze znázorněných nástřihových plánů a samotného principu tváření v postupovém nástroji vyplývá použití většího množství nástrojů současně. Výpočet velikostí sil vyvozených jednotlivými střižníky, ohybníky a razníky byl již definován. Kvůli upínání nástroje do lisu je však důležité také nalezení působíště jejich výslednice. Upnutí postupového nástroje v těžišti silových působení snižuje opotřebení vodicích prvků a zajišťuje přesnost výroby.

Výpočet polohy těžiště spočívá v rovnosti momentů sil jednotlivých střížníků, ohybníků a razníků a momentu silové výslednice k počátku dvourozměrného souřadného systému os „x“ a „y“. Plocha tohoto souřadného systému je kolmá na směr působících sil (síly působí v ose „z“). Za tohoto předpokladu je možné vypočítat délky ramen výslednice v jednotlivých souřadných osách. Tyto délky jsou pak souřadnicemi těžiště. V případě symetrie nástřihového plánu lze výpočet zjednodušit umístěním jedné z os souřadného systému právě do osy souměrnosti, na které těžiště sil leží. K samotnému výpočtu pak slouží rovnice:

$$X = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + \dots + F_n \cdot x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \text{ [mm]}, \quad (2.21)$$

kde: X – vzdálenost těžiště od počátku souřadného systému ve směru osy x [mm],

$F_i$  – síly jednotlivých nástrojů [N],

$x_i$  – vzdálenost působíště příslušné síly od počátku ve směru osy x [mm].

$$Y = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + \dots + F_n \cdot y_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \text{ [mm]}, \quad (2.22)$$

kde: Y – vzdálenost těžiště od počátku souřadného systému ve směru osy y [mm],

$y_i$  – vzdálenost působíště příslušné síly od počátku ve směru osy y [mm].

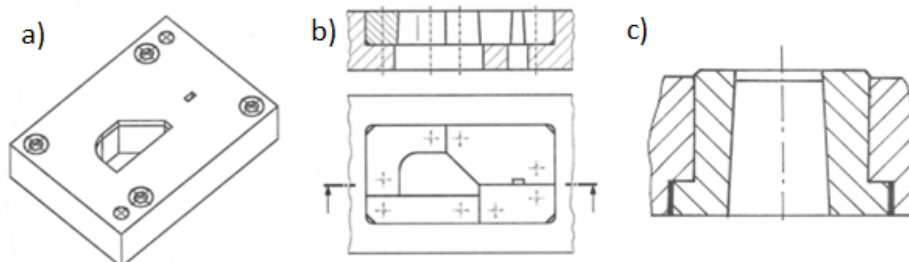
## 2.5 Nástroje [22], [28], [31]

Postupový sdružený nástroj je relativně složitou sestavou dílů sloužící k deformování pásového polotovaru. Nejdůležitějšími prvky každého nástroje jsou činné části zodpovědné za samotné tváření plechu do požadované podoby zvolenými technologiemi. V případě zadané součásti se jedná o nástroje střížné, ohybové a razicí. Pro všechny platí, že k realizaci tváření danou metodou je zapotřebí dvou činných částí. Konstrukce postupového sdruženého nástroje musí především zajišťovat jejich přesnou vzájemnou orientaci v protilehlé poloze, jejich upevnění na tvářecí stroj a přesný vzájemný pohyb. Zároveň musí být umožněn přísun tvářecího materiálu a jeho správná orientace vůči činným částem. V neposlední řadě je třeba dodržet všechny zásady bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků obsluhy.

### 2.5.1 Střížné nástroje [3], [22], [24], [28], [40], [41]

Spodní činné části střížných nástrojů se nazývají střížnice. Mohou být řešeny jako celistvé, tedy vyrobené z jednoho kusu materiálu pro celý nástroj, nebo jeho část (obr 30a). Používají se zejména pro menší výstřižky jednoduchých tvarů. Takové střížnice pak musí obsahovat také otvory pro připevňovací a středící elementy a další stavební prvky nástroje.

Vzhledem k tomu, že činné prvky jsou vyráběny z nástrojových ocelí a bývají tepelně zpracovány, nastávají situace, kdy je použití celistvých střížnic zbytečně nákladné. Například v případech, kdy jsou jednotlivé stříhané otvory daleko od sebe, je výhodnější použití vložkovaných střížnic (obr. 30c). Z nástrojové oceli pak stačí vyrobit pouze malé vložky a základová deska, do které jsou upevněny, může být z levné konstrukční oceli. Obvykle jsou realizovány tak, aby desku o 3 až 5 mm přecínaly kvůli snadnému přebroušení. Zejména jsou vhodné pro velkosériovou výrobu díky jejich jednoduché výměně v případě opotřebení.



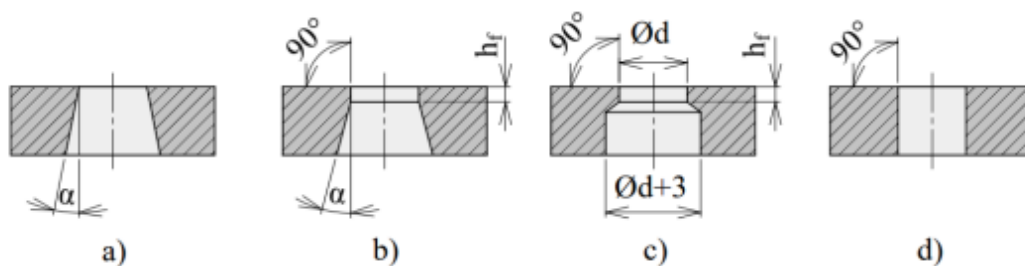
Obr. 30 Druhy střížnic [40]

V případě tvarově složitých výstřižků větších rozměrů je výhodné použití skládaných střížnic (obr. 30b). Obvod stříhaného otvoru se rozdělí na několik jednodušších segmentů a výsledná střížnice je pak složená z jednotlivých dílů pro každý takový segment, což značně zjednodušuje výrobu. Díly jsou do nekalené desky upevněny buď šrouby a kolíky, nebo zalisováním.

Vlivem elastické deformace se oddělený materiál ve střížnici roztahuje, což lze kompenzovat vhodným tvarem střížné hrany, tak aby došlo k odlehčení. Podle geometrie, kterou je toho dosaženo, se rozlišují jednotlivé typy střížnic popsané v tabulce 3.

Tab. 3 Typy střížnic dle geometrie střížné hrany [22].

Tvar střížné hrany	Parametry	Použití
Kuželový (Obr. 31a)	Kuželovitost „ $\alpha$ “: - od 10' pro tl. 0,1 mm - do 1° pro 6 mm	Pro stříhání malých součástí střední přesnosti a střední sériovosti
Kuželový s fazetkou (Obr. 31b)	Šířka fazetky „ $h_f$ “: - od 3 mm pro tl. < 0,5 mm - do 15 mm pro tl. 10 mm Kuželovitost „ $\alpha$ “: - od 3° do 5°	Pro přesné tvarově složité součásti vysoké sériovosti
Válcový s rozšířením (Obr. 31c)	Šířka fazetky „ $h_f$ “: - od 3 mm pro tl. < 0,5 mm - do 15 mm pro tl. 10 mm	Pro děrování do tloušťky polotovaru 5 mm
Bez odlehčení (Obr. 31d)		Pro střížnice při použití vyhazovače a pro přesné stříhání s nátlakovou hranou



Obr. 31 Grafická znázornění typů geometrie střížné hrany [28]

Při konstrukci střížnice je důležité správné stanovení její tloušťky, která vychází z kontroly na ohyb. Lze ji zjednodušeně určit jako třetí odmocninu střížné síly, nebo dle vztahu:

$$H = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot F_s \cdot a}{2 \cdot b_d \cdot \sigma_{dov}}} \text{ [mm]}, \quad (2.23)$$

kde:  $\sigma_{dov}$  – maximální dovolené ohybové napětí [MPa]; obvykle je dáno rozmezím 300 ÷ 400 MPa,

$b_d$  – šířka střížnice [mm],

$a$  – vzdálenost podpěr střížnice [mm].

Horní činná část střižného nástroje se nazývá střižník. Podobně jako v případě střižnic může být jeho konstrukce buď celistvá, tedy vyrobená z jednoho kusu nástrojové oceli, nebo může být z nástrojové oceli vyrobena pouze funkční část přišroubovaná na tělo z oceli konstrukční. Použití druhé varianty je vhodné především u rozměrnějších střižníků.

Při vtlačování do povrchu materiálu během vystřihování a děrování je na střižník vyvíjena střižná síla působící v jeho ose. Konstrukční řešení tedy musí zejména u tenkých a dlouhých střižníků zohledňovat bezpečnost vůči ztrátě vzpěrné stability. Kritická síla, při které ztráta vzpěrné stability nastává, závisí na způsobu uložení. Pro potřeby návrhu střižných nástrojů je důležitý případ jednostranného vetknutí na jedné a rotační vazby na druhé straně (obr. 32a), odpovídající nevedenému střižníku. Vedený střižník potom odpovídá případu vetknutí a posuvné vazby na druhé straně (obr. 32b). Hodnota kritické volné délky je pro nevedený střižník stanovena vztahem:

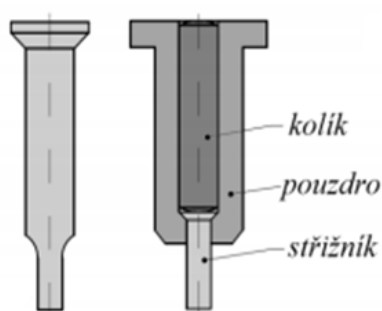
$$l_k = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E \cdot I}{F_s \cdot k_k}} \text{ [mm]}, \quad (2.24)$$

kde:  $l_k$  – kritická volná délka střižníku [mm],  
 $I$  – kvadratický moment průřezu [mm<sup>4</sup>],  
 $k_k$  – součinitel bezpečnosti [-], volen  
v rozmezí 1,5 ÷ 2

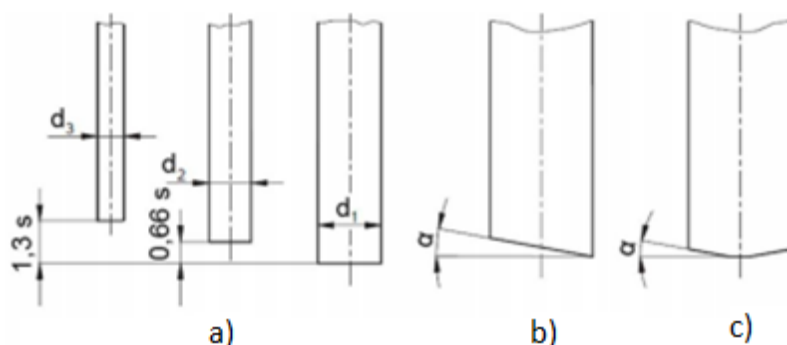
a pro vedený střižník vztahem:

$$l_k = \pi \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot E \cdot I}{F_s \cdot k_k}} \text{ [mm]}. \quad (2.25)$$

V případě potřeby lze ztrátě vzpěrné stability předcházet například zesílením těla střižníku nebo jeho uložení do vodícího pouzdra, viz obr. 33. Různé úpravy konstrukce střižných nástrojů se používají také ke snížení střižné síly, viz obr. 34. Obvykle se jedná o jednostranné, či oboustranné zkosení čela střižníku, nebo zkosení střižnice. Tím dojde ke snížení okamžité délky stříhu a rovnoměrnějšímu rozložení průběhu střižné síly na delší dráhu pohybu nástroje. Snížení celkové střižné síly od všech střižníků v nástroji lze docílit jejich odstupňováním, aby nepracovaly všechny zároveň.



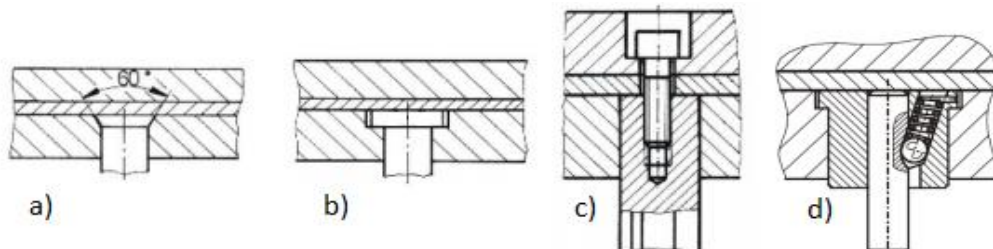
Obr. 33 Úpravy pro zvýšení vzpěrné stability [28]



Obr. 34 Úpravy pro snížení střižné síly: a) odstupňování, b) jednostranné zkosení, c) oboustranné zkosení [40]

Po skončení střižného procesu musí být střižník z vyrobeného otvoru vytažen stírací silou působící v opačném směru než síla střižná. K pevnému zajištění nástroje v kotevní desce proti vytažení se používá mnoho metod. Nejjednodušším a nejekonomičtějším způsobem z hlediska využití materiálu je roznýtování vyžíhaného konce střižníku (obr. 35a). Nejběžnější je uchycení pomocí kuželového nebo válcového osazení (obr. 35b). V případech, kdy je to dostatečnými

rozměry umožněno, je časté také použití šroubového spoje (obr. 35c). Při nárocích na častou výměnu nástroje je vhodný rychloupínací způsob zajištění kuličkou vtlačenou do zápichu na střížníku pomocí závitového kolíku, nebo pružinou (obr. 35d). Další možností je zalití do pryskyřice, které je velmi výhodné zejména u střížníků složitých tvarů.



Obr. 35 Způsoby ukotvení střížníků [31], [40]

Volbu rozměrů střížných nástrojů nelze provádět pouze v závislosti na stříhaném tvaru. Je třeba také zohlednit, zda se jedná o operaci děrovací, nebo vystřihovací. Specifika těchto metod spočívají zejména v umístění střížné mezery. Při děrování se o její velikost rozšiřuje střížnice, při vystřihování se naopak na její úkor zmenšuje střížník. Spolu s vlivem tolerančních polí vyráběného dílu a jednotlivých nástrojů je princip znázorněn na obrázku 36. Výpočet správných rozměrů funkčních částí při vystřihování se provádí podle vztahů:

$$A_{ev} = (A_{jv} - 0,8 \cdot \Delta_v)^{+\delta_e} \text{ [mm]}, \quad (2.26)$$

kde:  $A_{ev}$  – rozměr střížnice při vystřihování [mm],

$A_{jv}$  – jmenovitý rozměr výstřížku [mm],

$\Delta_v$  – rozměrová tolerance výstřížku [mm],

$\delta_e$  – rozměrová tolerance střížnice [mm],

$$A_{kv} = (A_{jv} - 0,8 \cdot \Delta_v - v)_{-\delta_k} \text{ [mm]}, \quad (2.27)$$

kde:  $A_{kv}$  – rozměr střížníku při vystřihování [mm],

$\delta_k$  – rozměrová tolerance střížníku [mm],

$v$  – střížná vůle [mm]

a pro děrování podle vztahů:

$$A_{ed} = (A_{jd} + 0,8 \cdot \Delta_d + v)^{+\delta_e} \text{ [mm]}, \quad (2.28)$$

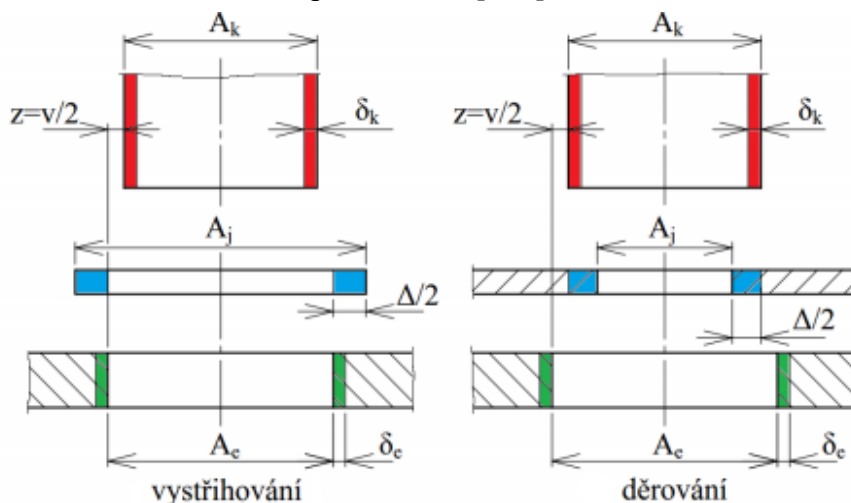
kde:  $A_{ed}$  – rozměr střížnice při děrování [mm],

$A_{jd}$  – jmenovitý rozměr otvoru [mm],

$\Delta_d$  – rozměrová tolerance otvoru [mm],

$$A_{kd} = (A_{jd} + 0,8 \cdot \Delta_d)_{-\delta_k} \text{ [mm]}, \quad (2.29)$$

kde:  $A_{kd}$  – rozměr střížníku při děrování [mm].

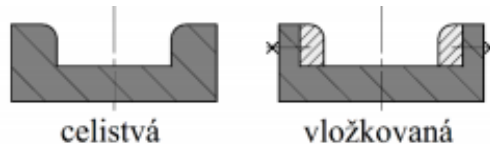


Obr. 36 Schémata rozměrů nástrojů při vystřihování a děrování [41]



### 2.5.2 Ohýbací nástroje

Konstrukce ohybnic a ohybníků může být, podobně jako u střížných nástrojů, realizována jako celistvá nebo vložková, kdy je tělo nástroje opět vyrobeno z konstrukční oceli a nástrojová ocel je použita jen na nejvíce namáhané části tvarující materiál, viz obr. 37. To je výhodné zejména u rozměrných nástrojů. Obvyklé je také použití vyhazovačů a přidržovačů. Důležité jsou stanovení a přesná výroba poloměru vstupní hrany ohybnice „ $r_m$ “, který má vliv na velikost výsledné ohýbací síly. Jeho stejná velikost na obou stranách ohybnice zajišťuje souměrné tváření polotovaru. Běžně se určuje dle vztahu:



Obr. 37 Typy ohybnic [31]

$$r_m = (2 \div 6) \cdot t \text{ [mm]}. \quad (2.30)$$

Poloměr ohybníku je určen poloměrem ohybu „ $R_o$ “ a jeho tvar dán požadovaným tvarem součásti, případně může být upraven pro kompenzaci odpružení. Zajišťování v kotevní desce probíhá obdobně jako v případě střížníků. Časté je použití šroubových spojů.

Další parametr, který je třeba určit, je jednostranná mezera mezi ohybnicí a ohybníkem „ $v_o$ “. Je závislá především na tloušťce plechu, druhu a výrobní toleranci materiálu a na délce ohýbaných ramen. Pro ohýbání ocelí do tvaru „U“ platí:

$$v_o = (1,05 \div 1,15) \cdot t \text{ [mm]}. \quad (2.31)$$

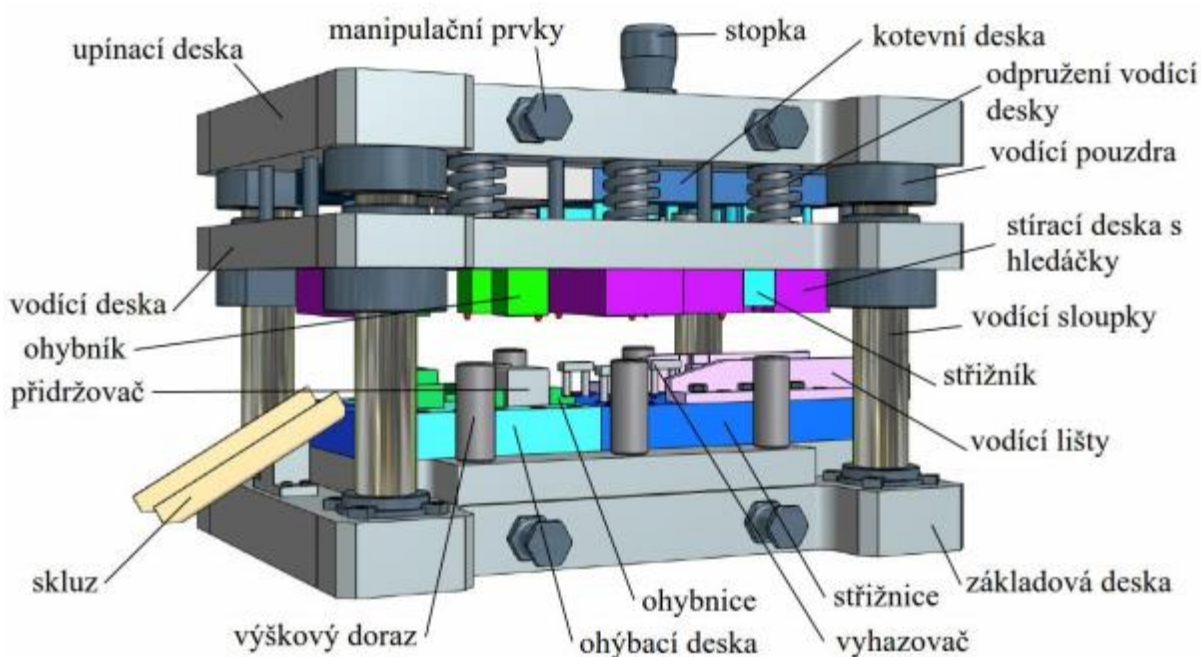
### 2.5.3 Ostatní části sdružených postupových nástrojů [22], [24], [28], [40]

Mezi činné prvky nástroje pro výrobu zadané součásti musí kromě popsaných střížných a ohýbacích nástrojů patřit také nástroje razící k vyrobení prolisu. Specifické je pro ně to, že geometrie jejich funkčních ploch přesně odpovídá požadovanému raženému tvaru. Vnější povrch plechu je kopírován zahloubením v raznici, zatímco vnitřek prolisu je vyplněn razníkem. Materiál funkčních částí musí mít vysokou tvrdost a houževnatost. Zajišťování v postupovém nástroji se provádí obdobně jako u nástrojů střížných a ohýbacích.

Kromě činných částí musí být do konstrukčního řešení postupového nástroje umístěny také další stavební prvky, které zajišťují upnutí do stroje a umožňují pohyb a přesnou orientaci zpracovávaného pásového polotovaru. Mezi základní prvky znázorněné na obrázku 38 patří:

- Základová deska – umožňuje upevnění nástroje na stůl lisu obvykle pomocí upínek, proto musí být na každé straně minimálně o 25 mm širší než střížnice. Její velikost musí být dostatečná pro překrytí propadového otvoru ve stole lisu. Tloušťka se pak obvykle pohybuje mezi 25 až 60 mm. Je vybavena otvory, kterými je odváděn odpad a výrobky vzniklé stříháním. Oproti střížnici jsou na obvodu zvětšeny přibližně o 2 mm. Pro stejný účel může být základová deska opatřena také skluzy. Na obvodu jsou díry pro čepy usnadňující manipulaci s nástrojem.
- Upínací deska – zajišťuje upevnění nástroje na beran lisu. U menších nástrojů ve výstředníkových lisech je upnutí realizováno normalizovanou stopkou umístěnou v těžišti tvářecích sil. Větší nástroje pro ostatní typy lisů jsou pak obvykle upevňovány upínkami. Deska také slouží k podepření jednotlivých tvárníků. Vzhledem k tomu, že se vyrábí z konstrukčních ocelí, může zejména u střížníků malého průřezu hrozit riziko jejího otláčení. V těchto případech bývá zespod doplněna kalenou opěrnou deskou z nástrojové oceli.

- Kotevní deska – slouží k zakotvení tvárníků. Rozměrově se obvykle shoduje s deskou upínací. Tloušťka bývá v rozmezí 10 až 32 mm. Otvory pro upevnění tvárníků musí být kolmé a upravené podle použitého typu zakončení k zachycení stírací síly.
- Vodicí deska – slouží k přesnému vedení tvárníků a při zpětném zdvihu nástroje stírá materiál ze střížníků. Tloušťka bývá většinou v rozmezí 18 až 32 mm. Může být buď pevně spojena se střížnicí a základovou deskou, nebo pružně upevněna k upínací desce a přidržovat tak plech při dosedání nástroje. Může sama plnit také stírací funkci při vytahování střížníků ven z materiálu, nebo jsou na ní zvlášť umístěny ještě stírací desky. Do nich je pak možné ukotvit hledáčky, případně i některé činné prvky.
- Vodicí sloupky – zajišťují přesný vzájemný pohyb horní a dolní části nástroje a zachycení bočních tlaků. Sloupky a jejich vedení jsou zalisováním upevněny do upínací a základové desky. Pro nástroje s nízkým minutovým počtem zdvihů se používají kluzná vedení, pro vysoký počet zdvihů a vyšší přesnost jsou vhodnější vedení valivá.
- Vodicí lišty a kolíky – slouží k vedení pásového polotovaru v pracovním prostoru nástroje. Vodicí lišty jsou vzájemně rovnoběžně upevněny na střížnici ve vzdálenosti dané šířkou pásu. O přibližně 80 mm se obvykle prodlužují na zaváděcí straně nástroje a podpírají plech pro snadnější zavedení materiálu. Lze je nahradit odpruženými kolíky se zápichem na obvodu, ve kterém je plech veden.
- Hledáčky – zpřesňují polohu a orientaci tvářeného materiálu zaváděného do nástroje automatickým podavačem. Zasouvají se do otvorů vytvořených v prvním tvářecím kroku přímo na součásti, nebo do technologických otvorů vyrobených pro tento účel v odpadovém materiálu.
- Výškové dorazy – vymezují minimální vzdálenost horní a dolní části nástroje.

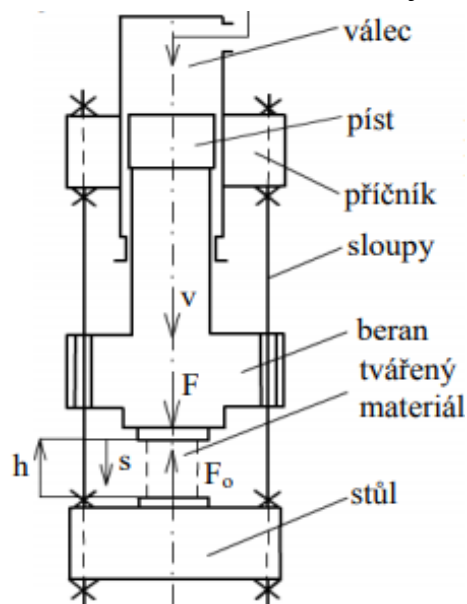


Obr. 38 Příklad postupového sdrúženého nástroje s popisem základních částí [42]

## 2.6 Stroje [43], [44], [45]

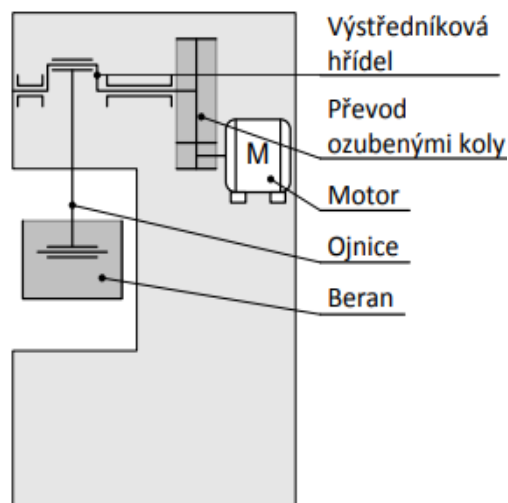
Tvářecí stroje jsou definovány jako dynamické soustavy sloužící k realizaci úkonů technologického procesu vedoucích k plastické deformaci polotovaru. Lze je rozdělit podle několika různých kritérií. Základní rozdělení se provádí na základě formy využití energie. Jedním typem jsou z tohoto hlediska tvářecí stroje energetické (tzv. buchary), které k překonání přetvárného odporu materiálu využívají kinetickou energii volného pádu beranu. Využívají se především pro kovací operace. Další dva typy použitelné pro technologie plošného tváření při výrobě zadané součásti jsou:

- Tvářecí stroje silové – k překonání přetvárného odporu materiálu využívají převážně energii potenciální. Specifikem těchto strojů je konstantní síla beranu nezávislá na jeho dráze. Typickými představiteli jsou hydraulické lis (obr. 39), jejichž pracovní síla je vyvozena hydraulickým převodem tlakové energie. Důležitým parametrem je jmenovitá síla „ $F_j$ “, což je maximální dovolená síla, kterou může výstupní člen, tedy beran, působit prostřednictvím nástroje na materiál. K základním výhodám patří právě dosažení konstantní a velmi vysoké pracovní síly po celém zdvihu. Dále je také možné plynule regulovat rychlost a velikost zdvihu libovolně z celkového zdvihu beranu. Pracovní cyklus a pomocné práce na těchto strojích lze jednoduše automatizovat. Nevýhodami jsou pomalý chod, z toho plynoucí nižší výrobnost, složitá údržba a vysoké pořizovací náklady.



Obr. 39 Hydraulický lis [44]

- Tvářecí stroje zdvihové – k překonání přetvárného odporu materiálu využívají jak energie kinetické, tak potenciální. Typickými představiteli jsou mechanické lis využívající převodových systémů k přenosu energie. Podle použitého systému je možné rozlišit dva nejčastější typy, a to lis klikové a výstředníkové. Tyto mechanismy převádějí rotační pohyb hřídele poháněného motorem na posuvný pohyb beranu (obr. 40). Důležitým parametrem je opět maximální jmenovitá síla lisu, která nesmí být nižší než technologická síla tvářecího procesu. K jejímu překročení může snadno dojít například chybou obsluhy. Vzhledem k tomu, že vyšší než jmenovitou sílu lze pohonem bez obtíží vyvodit, může nastat přetížení stroje, jeho poškození a ohrožení bezpečnosti obsluhy. Proto se mechanické lis vybavují bezpečnostními pojistkami. Zásadní výhody oproti lisům hydraulickým jsou vysoká rychlost chodu, jednoduchost pohonu a relativně snadná údržba.



Obr. 40 Výstředníkový lis [45]

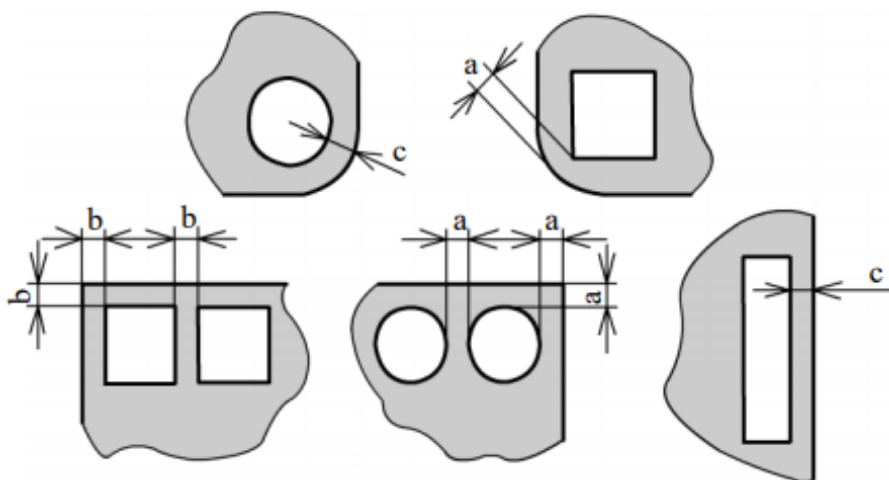


## 2.7 Technologičnost [24], [46], [47]

Pro zaručení vyrobitelnosti, funkčnosti, požadované životnosti a maximální hospodárnosti výroby je důležité stanovit technologické zásady, které je třeba zohlednit již při konstrukčním návrhu součásti. Souhrn těchto zásad se nazývá technologičnost. Obecně platnými požadavky jsou například co nejvyšší využitelnost materiálu, nízká cena, použití normalizovaných dílů a polotovarů, co nejkratší a nejjednodušší příprava výroby a montáž atd. V neposlední řadě je ale třeba brát v potaz také aspekty ekologické. Jednotlivá pravidla technologičnosti mohou být často protichůdná a optimální konstrukční návrh tak musí být řešen kompromisem mezi technologickými možnostmi a technickými a ekonomickými požadavky. Výroba zadaného dílu je realizovatelná současným použitím třech metod, a to stříháním, ohýbáním a ražením prolisu. Pro každou platí specifické technologické požadavky.

Při návrhu tvarových prvků zhotovovaných děrováním a vystřihováním je zapotřebí respektovat nedokonalosti střížného procesu. Těmi jsou drsnost a zešíkvení střížných ploch, zpevnění materiálu, ztenčení plechu podél střížné plochy, odchylky v rozměrech či prohnutí plechu vlivem ohybového momentu. Pravidla technologičnosti plynoucí z těchto průvodních jevů stříhání jsou:

- pokud možno nezužovat rozměrové tolerance pod třídy přesnosti IT12 až IT14,
- nepředepisovat drsnost povrchu a kolmost střížných ploch, pokud se nejedná o plochy funkční,
- nepředepisovat přísné tolerance rovinnosti výstřižků,
- minimální vyrobitelný rozměr otvoru závisí na druhu materiálu, obecně by neměl být menší než tloušťka plechu,
- upřednostňovat kruhové a zaoblené otvory,
- dodržovat minimální vzdálenosti mezi otvory a vzdálenosti od okrajů  $a \geq 0,8 \cdot t$ ;  $b \geq t$ ;  $c \geq 1,5 \cdot t$ ; znázorněné na obrázku 41,

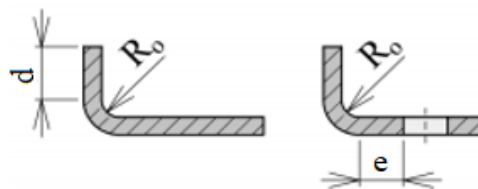


Obr. 41 Minimální vzdálenosti otvorů v různých případech [24]

- nejsou vhodné plynulé přechody poloměrů do přímých částí obrysu, protože vyžadují uzavřený stříh a tím zdražují nástroj,
- nejmenší šířka tenkých výstřižků a šířka vystupujících částí nesmí být menší než 1,5 násobek tloušťky plechu,
- nejsou vhodné rozvětvené a kruhové tvary výstřižků z hlediska využití materiálu.

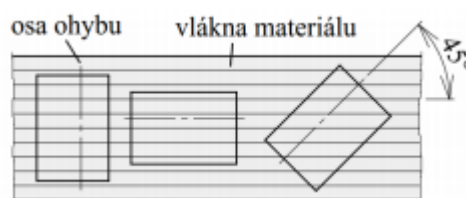
Při posuzování technologičnosti ohýbaných součástí je třeba vzít v úvahu výrazný vliv plastických vlastností použitého materiálu. Dále jsou třeba zohlednit také nedokonalosti procesu, jako je nepřesnost úhlu ohybu v důsledku odpružení, ztenčení materiálu atd. Obecné zásady, kterými je vhodné se při návrhu součástí a nástřihového plánu řídit, jsou:

- dovolit přípustné ztenčení tloušťky plechu 20 %,
- délku ohýbaného ramene „d“ volit minimálně jako dvojnásobek tloušťky (obr. 42),
- aby nedošlo k deformaci otvorů vytvořených před ohýbáním, musí být jejich vzdálenost „e“ od okraje ohybu minimálně dvojnásobek tloušťky, viz obr. 42,



Obr. 42 Minimální vzdálenost otvoru od ohybu [29]

- poloměr ohybu volit co nejmenší kvůli snížení odpružení, ne však menší než minimální poloměr ohybu „ $R_{min}$ “,
- osa ohybu musí být orientována kolmo, nebo alespoň pod úhlem  $45^\circ$  ke směru průběhu vláken vzniklých při válcování plechu, viz obr. 43, rovnoběžná orientace by mohla vést ke vzniku trhlin na vnější tahové straně,
- pokud to není nutné, nezmenšovat rozměrové tolerance pod hodnoty dané tabulkami 4 a 5,
- pokud je ohýbaný polotovar vyroben stříháním, je nutné umístit otřep na vnitřní stranu; v opačném případě hrozí tvorba trhlin v důsledku tahového napětí na vnější straně,
- okraje polotovaru mají být v oblasti ohybu kolmé na hranu ohybu



Obr. 43 Orientace osy ohybu na průběh vláken [38]

Tab. 4 Závislost dosažitelných rozměrových tolerancí na poloměru ohybu [24].

Poloměr ohybu [mm]	do 3	3 až 6	6 až 20	nad 20
Tolerance [mm]	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 3$

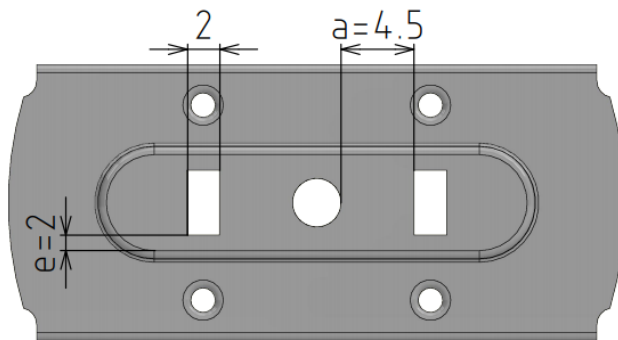
Tab. 5 Tolerance úhlu dosažitelné běžným ohýbáním na  $90^\circ$  pro středně tvrdé oceli [24].

Poměrný poloměr ohybu $R_o/t$	do 1	1 až 2	2 až 4
Tolerance úhlu	$\pm 30'$	$\pm 1,5^\circ$	$\pm 3^\circ$

### 3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Zámek skládacího metru bude vyráběn z materiálu ČSN 41 1321 o tloušťce 0,3 mm zvolenou technologií tváření v postupovém sduženém nástroji. Výrobní série činí 100 000 ks/rok. Součást musí umožňovat otáčení sousedících lamel skládacího metru a zajišťovat je ve vzájemné přímé otevřené, nebo zavřené poloze. Zaručení těchto funkcí je dosaženo dostatečně přesnou výrobou navržených tvarových prvků, tedy ražením prolisu, děrováním otvorů, protržením zajišťovacích trnů a ohybem ramen. Před samotným návrhem technologie zhotovení těchto prvků je třeba zhodnotit technologičnost a vyrobitelnost součástí. Posuzováno bude dodržení uvedených zásad technologičnosti konstrukce výstřižků a ohybků.

Na raženém prolisu se nachází dvě díry obdélníkového a jedna kruhového průřezu. Při jejich výrobě musí být dodržena podmínka, že minimální rozměr děrovaného otvoru nesmí být menší než tloušťka plechu, tedy 0,3 mm. Šířka obdélníkového otvoru 2 mm, která je nejmenším děrovaným rozměrem na součásti, tuto podmínku splňuje. Minimální vzdálenost střižných hran otvorů je kvůli malé tloušťce plechu pro obdélníkové i kruhovou díru přibližně stejná a činí 0,3 mm. Vzdálenost střižné hrany od počátku zaoblení ohybu může být na součásti vztažena na vzdálenost od počátku zaoblení raženého prolisu a přibližně odpovídat minimálně dvojnásobku tloušťky, tedy 0,6 mm. Kritické rozměry jsou znázorněny na obrázku 44, ze kterého je zřejmé, že všechny podmínky jsou splněny. Minimální vzdálenost od okraje dílu, tedy přibližně 0,5 mm, není na součásti ohrožena.



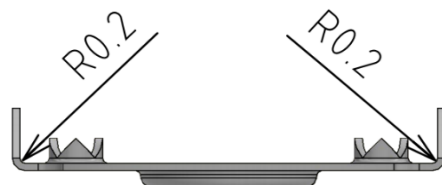
Obr. 44 Kritické rozměry z pohledu technologičnosti

Na ohybu do tvaru „U“ je nutné dodržet minimální délku ohýbaných ramen 0,6 mm. Na součásti má tento rozměr hodnotu 2 mm a podmínku tak splňuje. Dále je nutné stanovit minimální poloměr ohybu, dle vztahu (2.13):

$$R_{\min} = c \cdot t = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15 \text{ mm},$$

kde:  $c$  – součinitel zvolen 0,5.

Na součásti navržený vnitřní poloměr ohybu 0,2 mm, viz obr. 45, tedy vyhovuje a minimální hodnotu překračuje pouze mírně, což je výhodné kvůli minimalizaci odpružení. V případě vhodné kolmé orientace osy ohybu na průběh materiálových vláken by nemělo docházet ke vzniku trhlin na vnější straně. Problematická by však mohla být orientace rovnoběžná, při které by velikost minimálního poloměru ohybu musela být zvětšena a případně ověřena výrobou testovací série.



Obr. 45 Vnitřní poloměr ohybu

Z hlediska rozměrových a geometrických tolerancí je třeba dodržet předepsanou přesnost dle normy ČSN ISO 2768-mK. Vzhledem k malým rozměrům součásti se velikost tolerančního pole délkových rozměrů pohybuje přibližně v rozmezí  $\pm 0,1 \div \pm 0,2$  mm. Tomu odpovídají stupně normalizovaných tolerancí IT11  $\div$  IT13, které jsou technologiemi stříhání v nástroji s vedením vyrobitelné.

### 3.1 Rozvinutý tvar a odpružení

Kvůli ohybu navrženému na součásti je důležité předem stanovit celkovou výchozí délku rozvinutého polotovaru vyrobeného stříháním, aby bylo na výsledné součásti dosaženo požadovaných rozměrů. K jejímu určení je třeba nejprve stanovit součinitel posunutí neutrální plochy ze závislosti na poměrném poloměru ohybu daném vztahem:

$$\frac{R_0}{t} = \frac{0,3}{0,2} = 1,5 [-]. \quad (3.1)$$

Hodnota součinitele posunutí neutrální plochy je tedy z tabulky 2 stanovena jako aritmetický průměr pro poměrné poloměry 1 a 2 přibližně na  $x = 0,43$ .

Následně je možné určit poloměr neutrální plochy dle vztahu (2.7):

$$\rho = R_0 + x \cdot t = 0,2 + 0,43 \cdot 0,3 = 0,329 \text{ mm.}$$

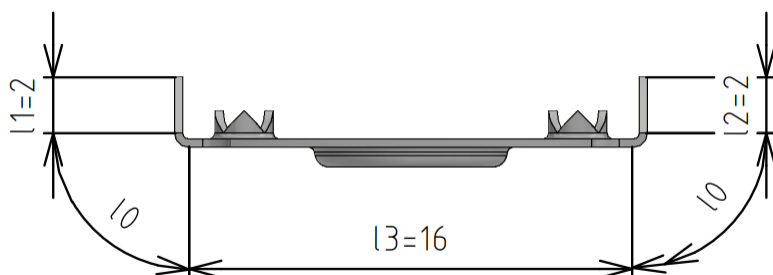
Postup dále spočívá nejprve v rozdělení součásti na jednotlivé přímé úseky o daných délkách. K jejich součtu je dále třeba přičíst délky všech ohnutých úseků v neutrálních plochách. Vzhledem k rovnosti úhlu ohybu a poloměru neutrální plochy u obou ramen při využití vzorce (2.9) pro výpočet délek ohnutých úseků platí vztah:

$$l_{o1} = l_{o2} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90^\circ}{180^\circ} \cdot 0,329 = 0,517 \text{ mm,}$$

Pro další výpočet je hodnota zaokrouhlena na 0,5 mm s ohledem na dosažitelnou přesnost použitých technologií.

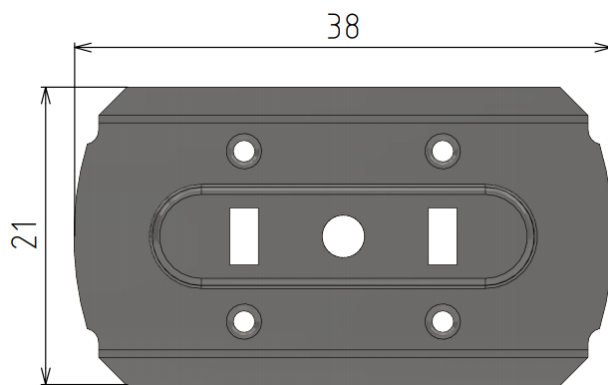
Po odečtení délek rovných úseků, viz obr. 46, lze celkovou rozvinutou délku vypočítat ze vztahu (2.8):

$$l_c = l_1 + l_2 + l_3 + l_{o1} + l_{o2} = 2 + 16 + 2 + 0,5 + 0,5 = 21 \text{ mm.}$$



Obr. 46 Rozměry pro výpočet rozvinuté délky

Výsledný rozvinutý tvar součásti je i s hlavními vnějšími rozměry, které jsou určující při rozmístování výstřižků na pás plechu, znázorněn na obrázku 47. Vliv ražení prolisu na změnu tvarů a rozměrů rozvinu je vzhledem k jeho malé hloubce, pouze 0,7 mm, zanedbáván, proto zůstává na rozvinu spolu s děrovanými a protrženými otvory znázorněn. Přesto je vhodné jej provést ještě před obstřihováním vnějšího obrysu rozvinuté součásti, aby případné ovlivnění tvarů a rozměrů s jistotou nehrozilo. Pokud by bylo nutné jeho interakci se střížnými hranami brát v potaz, je možné dostatečnou pravdivost všech předpokladů zkontrolovat počítačovou simulací.



Obr. 47 Rozvinutý tvar součásti

Součástí ohýbacího procesu je také elastická deformace a s ní související odpružení. V jeho důsledku dojde k rozevření ramen ohybu o úhel, který lze určit ze vztahu (2.10):

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \left( 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \operatorname{arctg} \left( 0,75 \cdot \frac{1,82}{0,57 \cdot 0,3} \cdot \frac{320}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,02^\circ,$$

kde:  $l_u$  – vzdálenost mezi středy zaoblení nástrojů je dána vztahem (2.11):

$$l_u = R_o + r_m + 1,2 \cdot t = 0,2 + 0,9 + 1,2 \cdot 0,3 = 1,82 \text{ mm},$$

kde:  $r_m$  – poloměr zaoblení ohybnice je stanoven z rovnice:

$$r_m = 3 \cdot t = 3 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ mm},$$

$k$  – součinitel polohy neutrální plochy daný vztahem (2.12):

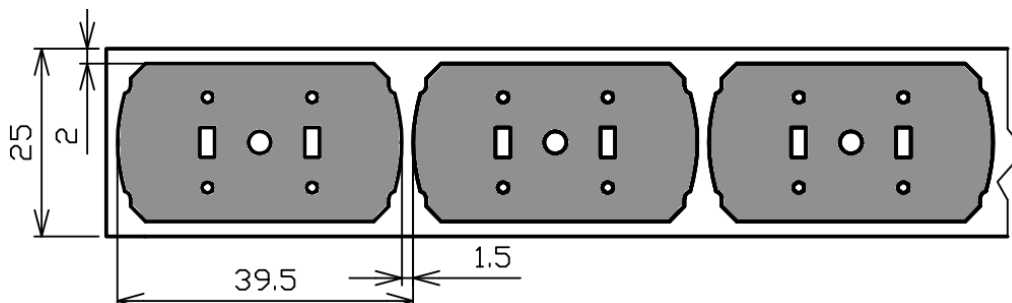
$$k = 1 - x = 1 - 0,43 = 0,57.$$

Vypočtená hodnota odpružení je zanedbatelná a není tedy zapotřebí upravovat tvar ohybových nástrojů ani výrobní tolerance součástí. I kdyby byla skutečná hodnota odpružení větší, na funkci součásti by neměla vliv vzhledem k tomu, že ramena jsou při montáži ohnuta na ostrý úhel přes zkosení na lamele metru.

### 3.2 Rozmístění výstřižků a volba polotovaru

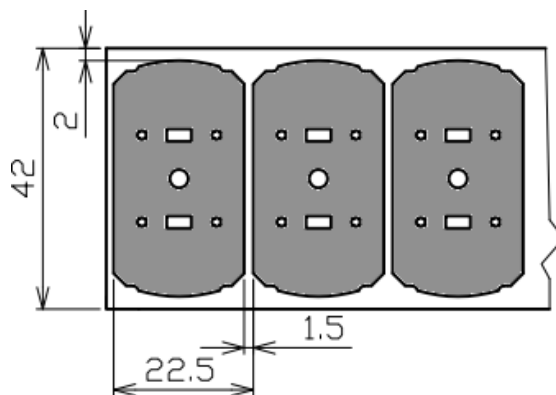
Znalost rozvinutého tvaru součásti umožňuje rozvahu o rozmístění jednotlivých kusů na pásu plechu. Vzhledem k přibližně obdélníkovému tvaru součásti je možné předem vyloučit uspořádání šikmé a střídavé, které ani nelze realizovat. V úvahu připadají následující varianty rozmístění výstřižků:

- Podélné – jednotlivé kusy jsou s okraji pásu rovnoběžné svojí delší stranou (obr. 48). Tím pádem jsou rovnoběžné také osy ohybu s průběhem vláken, což představuje nevýhodu. Výhodu by mohl představovat jednoduchý posun polotovaru, ale vzhledem k tomu, že na jedné straně dílu vystupují protržené trny a na straně druhé prolis, bude stejně nutné nějakým způsobem zajistit nadzvedávání plechu při posunu. S okrajem pásu jsou rovnoběžné pouze rovné části obrysu, proto by bylo teoreticky možné realizovat nástřihový plán bez postranního odpadu. S ohledem na malé rozměry a požadovanou přesnost výroby je vhodná varianta s postranním odpadem. Šířka postranního odpadu a šířka můstků je volena dle tabulky v příloze 1, přičemž rozměry postranního odpadu jsou zaokrouhleny tak, aby šířka pásu byla celé číslo.



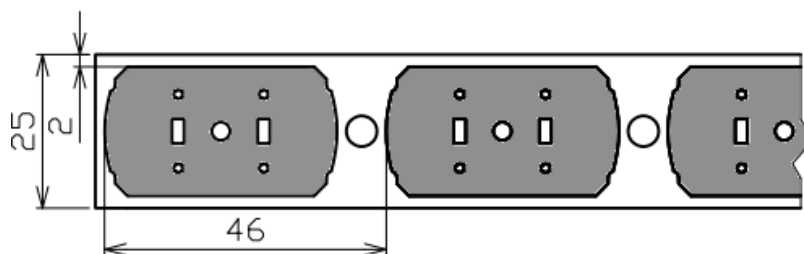
Obr. 48 Znázornění podélného rozmístění

- Příčné – u této varianty jednotlivé kusy na pásu sousedí delšími stranami, viz obr. 49. Osy ohybů jsou kolmé na průběh vláken, což je vhodné z hlediska technologičnosti ohýbacího procesu. Další výhodou je kratší průchod pásu nástrojem, díky čemuž je sníženo riziko jeho zvlnění. Na rozdíl od podélného uspořádání zde odstranění odpadového materiálu mezi rovnými dlouhými stranami obrysů není vůbec možné realizovat kvůli ohybu ramen, která by na sebe navazovala. Šírky můstek a postranního odpadu jsou tedy opět voleny dle tabulky z přílohy 1. Kvůli konstrukčnímu řešení ohybových nástrojů by bylo možná nutné můstky naopak ještě rozšířit nad rozměr stanovený normou.



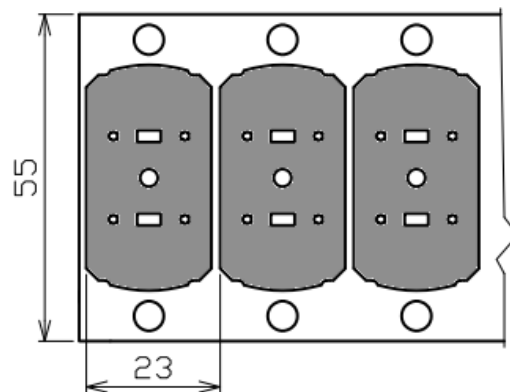
Obr. 49 Znáznornění příčného rozmístění

- Podélné s dírami na hledáčky – podobné výhody a nevýhody jako u popsaného podélného uspořádání. Rozdíl spočívá v rozšíření odpadového prostoru mezi součástmi na díru pro hledáček. Použití hledáček je nezbytné pro korekci rozptylu automatického podávacího zařízení a přesné ustavení polohy polotovaru v nástroji. Pro přímé zahledání lze na součásti uvažovat pouze kruhovou díru o průměru 3 mm. Její rozměr je velmi malý, hrozí riziko jejího poškození a je navíc umístěna na tvarovém prvku – prolisu. Kvůli tomu ji k zahledání nelze využít a je třeba navrhnout technologické otvory do odpadu pro hledání nepřímé. Zvolena byla díra o průměru 5 mm. Její umístění na pásu plechu a odpovídající rozměry rozložení výstřižků jsou znázorněny na obrázku 50.



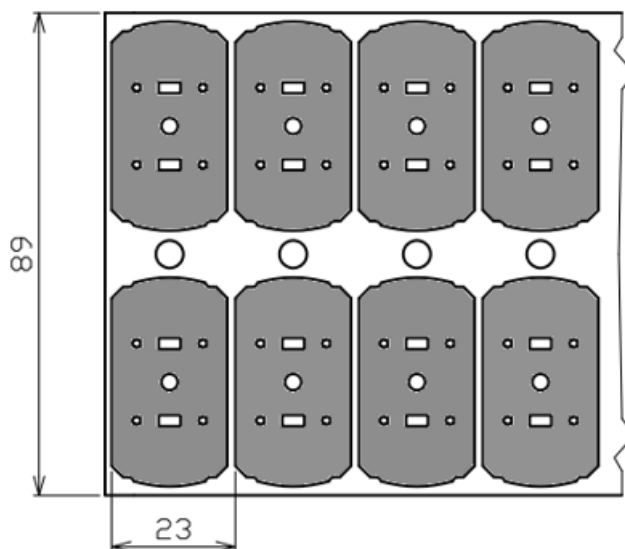
Obr. 50 Znáznornění podélného rozmístění s dírami pro hledáčky

- Příčné s dírami na hledáčky – díru na nepřímé zahledání zde není možné umístit mezi jednotlivé součásti kvůli prováděnému ohybu. Proto je zapotřebí rozšířit postranní odpad a tím pádem i šírku pásu, viz obr. 51. V důsledku tohoto rozšíření zde lze očekávat relativně nízké využití materiálu. Naopak výhodou představuje mnohem kratší průchod nástrojem, a tím i jeho menší rozměry. Otvory jsou v jednom kroku navrženy dva, jeden na každé straně výstřižku tak, aby nebyla narušena symetrie tvářecích sil podle osy šířky pásu při jejich děrování a aby bylo zahledání co nejpřesnější.



Obr. 51 Znáznornění příčného rozmístění s dírami pro hledáčky

- Příčné dvouřadé – v jednom kroku jsou vyráběny dvě součásti zároveň, což výrazně zvyšuje produktivitu výroby. Na hledáček z hlediska symetrie sil postačuje umístění jedné díry, viz obr. 52. Využití materiálu lze očekávat výrazně vyšší než u předešlých variant, naopak nevýhodou je potřebná složitost a velké rozměry finálního nástroje.



Obr. 52 Znázornění příčného dvouřadého rozmístění

Kvůli použití velmi tenkého materiálu, malým rozměrům součásti, a tím i malé šířce plechu, by bylo použití pásů nastříhaných z tabule a ručně zaváděných do nástroje značně nepraktické. Proto je uvažováno použití svitku posouvaného do nástroje automatickým podávacím zařízením. Z toho důvodu jsou pro výrobu součásti použitelná rozmístění výstřižků obsahující díry pro zahledání. Jedním z rozhodujících faktorů pro konečnou volbu varianty rozmístění, a z ní plynoucí šířky svitkového polotovaru, je využití materiálu. Všechny potřebné parametry jsou na příkladu podélného rozmístění s dírami pro hledáčky stanoveny následovně:

- Hmotnost svitku:

$$m_{sv} = \frac{D_{sv}^2 - d_{sv}^2}{4} \cdot \pi \cdot B \cdot \rho_{ocel} = \quad (3.2)$$

$$= \frac{1000^2 - 508^2}{4} \cdot \pi \cdot 25 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 114 \text{ kg},$$

kde:  $D_{sv}$  – vnější průměr svitku [mm],  
 $d_{sv}$  – vnitřní průměr svitku [mm],  
 $\rho_{ocel}$  – hustota oceli [ $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$ ].

- Rozvinutá délka svitku:

$$l_{sv} = \frac{m_{sv}}{t \cdot B \cdot \rho_{ocel}} = \frac{114}{0,3 \cdot 26 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 1\,942\,384 \text{ mm}. \quad (3.3)$$

- Počet výstřižků ze svitku:

$$P_v = \frac{l_{sv}}{K} = \frac{1\,942\,384}{46} = 42\,225 \text{ ks}. \quad (3.4)$$

- Počet svitků pro výrobu jedné série 100 000 ks:

$$P_{sv} = \frac{100\,000}{P_v} = \frac{100\,000}{42\,225} = 2,3 \text{ ks}. \quad (3.5)$$

- Plocha výstřižků v jednom svitku:

$$S_v = P_v \cdot S_{\text{výstř}} = 42\,225 \cdot 756 = 31\,927\,259 \text{ mm}^2, \quad (3.6)$$

kde:  $S_{\text{výstř}}$  – plocha výstřižku vypočtená programem Inventor [mm<sup>2</sup>].

- Plocha svitku plechu:

$$S_{sv} = B \cdot l_{sv} = 25 \cdot 1\,942\,384 = 48\,559\,898 \text{ mm}^2. \quad (3.7)$$

- Procentuální využití materiálu dle vztahu (2.20):

$$\eta = \frac{S_v}{S_{sv}} = \frac{31,9}{48,6} = 65,6 \, \%.$$

Obdobným postupem byly hodnoty stanoveny také pro další dvě uvažovaná rozmístění výstřižků s dírami pro hledáčky, při použití stejných průměrů, a tím pádem i délky svitků. Jejich porovnání je uvedeno v tabulce 6.

Tab. 6 Porovnání využití materiálu pro jednotlivé varianty rozmístění.

Rozmístění	K [mm]	B [mm]	m <sub>sv</sub> [kg]	S <sub>sv</sub> [m <sup>2</sup> ]	S <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> ]	P <sub>v</sub> [ks]	η [%]
Podélné	46	25	114	48,6	31,9	42 225	65,6
Příčné	23	55	252	106,8	63,9	84 451	59,8
Příčné dvouřadé	23	89	407	172,9	127,7	168 902	73,9

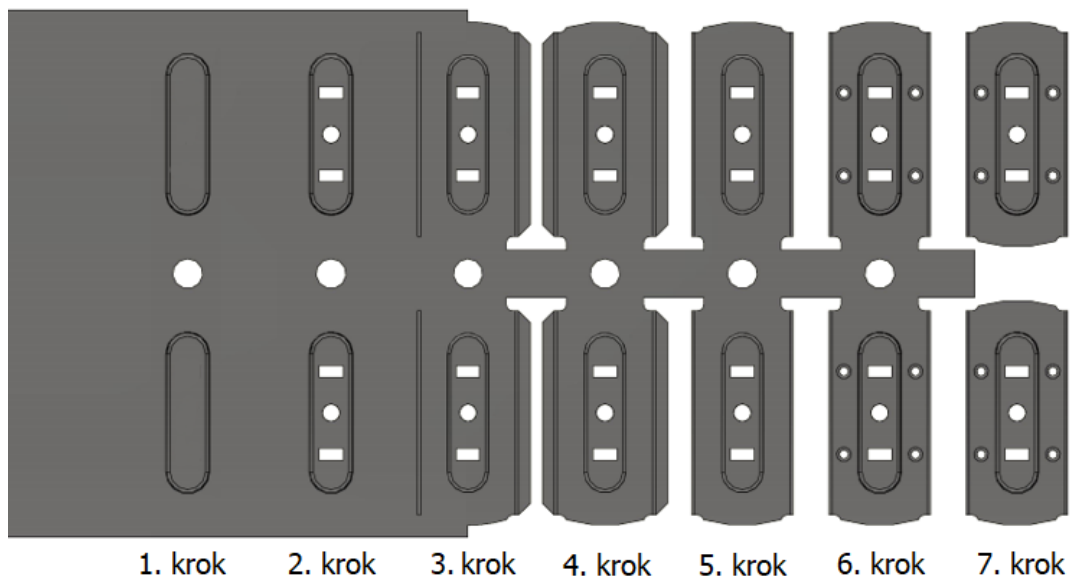
S výjimkou dvouřadého příčného uspořádání z porovnání variant plyne relativně nízké procento využití materiálu. Způsobeno je zvětšením odpadové plochy o díry na hledáčky v poměru k velmi malé ploše vystřihované součásti. Vyloučit lze podélné rozmístění zejména kvůli nevýhodné orientaci os ohybu k průběhu vláken a dlouhému průchodu nástrojem. Ani procentuální využití u něj nedosahuje výrazně vyšší hodnoty než u rozmístění příčného. Právě nízké využití materiálu je největší nevýhodou jednořadého příčného uspořádání. Stále se však pohybuje na přijatelné hranici 60 %. Výrazné navýšení úspory materiálu u dvouřadého uspořádání nelze zanedbat a konečná volba mezi ním a jednořadým příčným uspořádáním tak musí zohlednit také další faktory výrobního procesu.

### 3.3 Postup výroby

Pro uvažované příčné jednořadé, nebo dvouřadé rozmístění je nutné posoudit různé varianty sledu jednotlivých tvářecích operací. Cílem je najít optimální uspořádání z hlediska konstrukční jednoduchosti nástroje a vyrobitelnosti součásti s požadovanou přesností. Výstřižky musí být až do poslední operace spojeny s pásovým polotovarem, aby se spolu s ním v nástroji posouvaly o požadovanou vzdálenost. Posuzovány byly následující varianty:

- Varianta 1 (obr. 53)
  - 1. krok – děrování otvoru pro hledáčky o průměru 5 mm, ražení prolisů,
  - 2. krok – děrování obdélníkových otvorů 2x4 mm a kruhových otvorů pro čep o průměru 3 mm na prolisech,
  - 3. krok – obstřížení ohýbaného ramene tvarovým střížníkem, zahledání pásu,
  - 4. krok – volný, probíhá obstřížení ramene na druhé straně dílu,
  - 5. krok – ohyb do tvaru „U“, zahledání pásu,
  - 6. krok – protržení otvorů se zajišťovacími trny,
  - 7. krok – odstřížení odpadové přepážky, čímž dojde k oddělení hotových kusů.



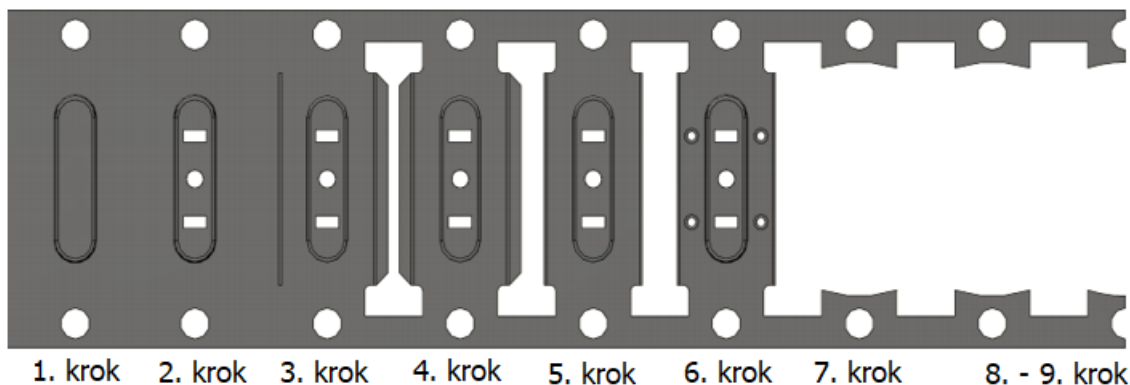


Obr. 53 První varianta výrobního postupu

Jedná se o dvouřadé uspořádání, jehož hlavní předností je již vyhodnocené vysoké využití materiálu téměř 74 %. Z hlediska výrobního postupu lze však najít řadu nevýhod. První z nich je potřebná konstrukční složitost postupového sdruženého nástroje a z ní plynoucí vyšší náklady na jeho výrobu. Další nevýhodou představuje spojení výstřižku s pásovým polotovarem pouze na vnitřní straně již od čtvrtého kroku, kdy již není pás zajištěn proti vybočení vodicími lištami. Toho lze sice využít k jednoduchému oddělení hotových kusů přestřížením přepážky v poslední operaci, avšak kritický je zejména pátý krok ohybu. Zde hrozí v důsledku možného pootočení polotovaru nesymetrické ohnutí ramen a vznik nepřesností.

▪ Varianta 2 (obr. 54)

- 1. krok – děrování dvou otvorů pro hledáčky o průměru 5 mm, ražení prolisu,
- 2. krok – děrování obdélníkových otvorů 2x4 mm a kruhového otvoru pro čep o průměru 3 mm na prolisu,
- 3. krok – obstřížení ohýbaného ramene tvarovým střížníkem, zahledání pásu,
- 4. krok – volný, probíhá obstřížení ramene na druhé straně dílu,
- 5. krok – ohyb do tvaru „U“, zahledání pásu
- 6. krok – protržení otvorů se zajišťovacími trny,
- 7. krok – vystřížení hotového kusu, zahledání pásu,
- 8. – 9. krok – rozstřížení odpadového materiálu v nejužším místě.

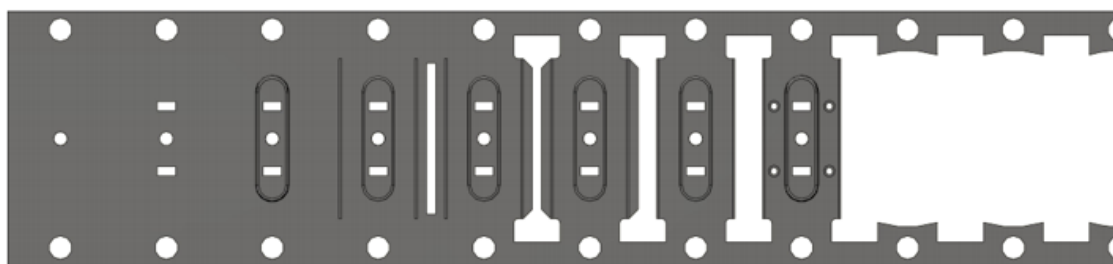


Obr. 54 Druhá varianta výrobního postupu

Jedná se o jednořadé uspořádání s otvory na hledáčky prostřiženými na obou stranách výlisku. Sled operací je podobný jako u varianty 1. Základní rozdíl spočívá ve vystřižení hotového kusu, který následně propadáva otvorem ve střižnici a základové desce. Postranní odpadový materiál se pak posouvá dál až k okraji střižnice, kde je stříháním rozdělen. Rozstřižení probíhá v nejužším místě, aby zde vznikaly co nejmenší nároky na velikost střižné síly. Alternativou k dělení postranního odpadu při každém zdvihu nástroje je jeho navíjení do cívek a rozdělení po dlouhých úsecích. Z hlediska odpadového hospodářství je obvykle výhodné, aby byl odpad rozdělen na co nejmenší rozměry kvůli skladování a dalšímu zpracování. Výhodou varianty je, že vnější okraje pásu zůstávají zachovány až do poslední operace a díl je s nimi spojen na obou svých stranách. tím je zaručena přesná výroba.

▪ Varianta 3 (obr. 55)

- 1. krok – děrování dvou otvorů pro hledáčky o průměru 5 mm, děrování středového otvoru pro čep o průměru 3 mm,
- 2. krok – děrování obdélníkových otvorů 2x4 mm,
- 3. krok – ražení prolisu, zahledání pásu,
- 4. krok – obstřížení rovné části obrysu ohýbaného ramene obdélníkovým střižníkem,
- 5. krok – obstřížení zbytku obrysu ohýbaného ramene tvarovým střižníkem, zahledání pásu,
- 6. krok – volný, probíhá obstřížení ramene na druhé straně dílu,
- 7. krok – ohyb do tvaru „U“,
- 8. krok – protržení otvorů se zajišťovacími trny, zahledání pásu,
- 9. krok – vystřižení hotového kusu,
- 10. – 11. krok – rozstřižení odpadového materiálu v nejužším místě.



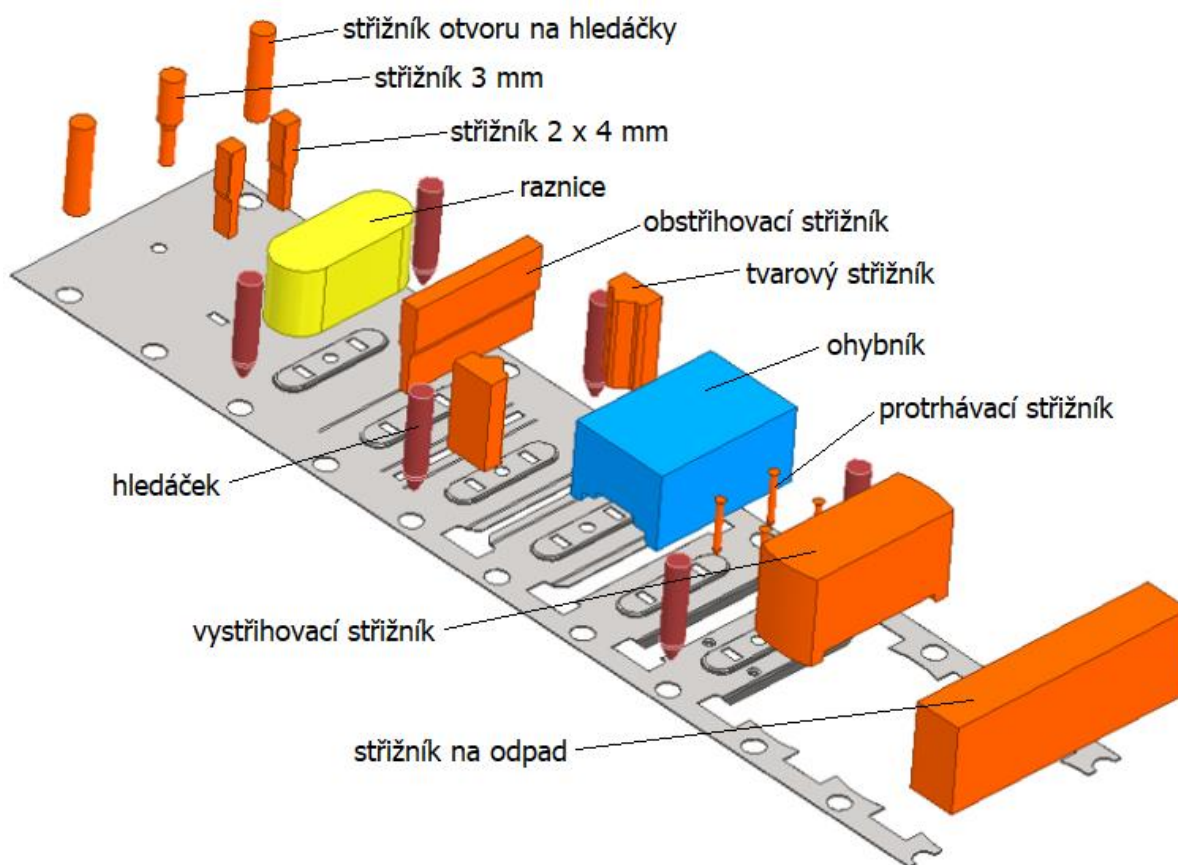
1. krok 2. krok 3. krok 4. krok 5. krok 6. krok 7. krok 8. krok 9. krok 10. - 11. krok

Obr. 55 Třetí varianta výrobního postupu

Rozmístění výstřižků je stejné jako u varianty 2. První rozdíl spočívá v posunutí ražení prolisu až za děrování otvorů, které se na něm nachází. To umožní zjednodušení konstrukce střižnice, která nebude muset být přizpůsobena tvaru prolisu. Byla provedena počítačová simulace třetího kroku, která vyloučila přítomnost plastického přetvoření v okolí děr i po této úpravě, viz příloha 2. Děrování obdélníkových otvorů a středové díry pro čep je zde rozděleno do dvou kroků. Důvodem jsou malé rozměry a vzdálenosti otvorů. Příslušné střižníky budou muset být za funkční částí rozšířeny kvůli vzpěrné stabilitě a na koncích osazeny k upevnění do kotevní desky. Proto je zvětšení jejich vzájemné vzdálenosti právě rozdělením do dvou kroků nezbytné. Další úpravou, zohledňující jednoduchost konstrukce činných prvků nástroje, je rozdělení obstříhování ramene ohybu do dvou kroků, kdy v první fázi je vystřižen obdélníkový otvor a v druhé fázi dva otvory tvarové. Příslušné střižníky jsou mnohem snadněji vyrobitelné než jeden složitý tvarový střižník uvažovaný ve variantě 2.

Nelze říct, že popsanými třemi variantami sledu tvářecích operací byly vyčerpány všechny použitelné výrobní postupy. Nicméně většina parametrů nástřihového plánu je pevně dána tvarem součásti. Například ražení prolisu musí předcházet obstřihování obrysu rozvinuté součásti a ohyb musí předcházet protrhávání otvorů, aby trny nekomplikovaly konstrukci ohybníku. Z popsaných variant je tedy možné volit tu, která určí finální nástřihový plán. Vzhledem k popsaným výhodám a nevýhodám a relativně nízké sériovosti výroby je zavrženo dvouřadé uspořádání výstřižků, tedy varianta 1. Jako nejvýhodnější řešení se naopak jeví varianta 3.

Kvůli tvarovým prvkům vystupujícím nad povrch pásového polotovaru je nutné určit ještě to, která strana plechu bude spodní (leží na lisovnici) a která horní (leží na stírací desce). Na jedné straně vystupuje prolis, na straně druhé pak ohnutá ramena a protržené trny. Tváření prvků vystupujících na horní straně musí být realizováno ještě před dosednutím plochy pásu na lisovnici. Tvářecí síla tedy musí být při použití odpruženého vedení lisovnicku vyvozena nástrojovými pružinami a je zapotřebí, aby byla co nejmenší. Proto je jako horní volena strana, ze které vystupuje pouze prolis. Pro lepší názornost je výrobní postup znázorněn na 3D modelu, viz obr. 56.



Obr. 56 Popis zvoleného nástřihového plánu na 3D modelu

### 3.4 Síly a práce

Při znalosti výrobního postupu je možné spočítat potřebné síly působící v průběhu tvářecího procesu a jejich práce. Jejich výpočty lze podle příslušné použité technologie rozdělit na:

- Střížná síla – je počítána zvlášť pro každý použitý typ střížníku. Těch je k výrobě potřeba celkem osm, viz tabulka 7, přičemž jednotlivé střížníky jsou z pohledu stanovení střížné síly specifické pouze délkou křivky stříhu. Vzorový výpočet dle vzorce (2.3) je proveden pouze pro děrovací kruhový střížník o průměru „ $d_1$ “ 3 mm:

$$F_{s1} = n \cdot S_{s1} \cdot \tau_s = n \cdot L_1 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 9,42 \cdot 0,3 \cdot 0,8 \cdot 410 = 1\,205 \text{ N},$$

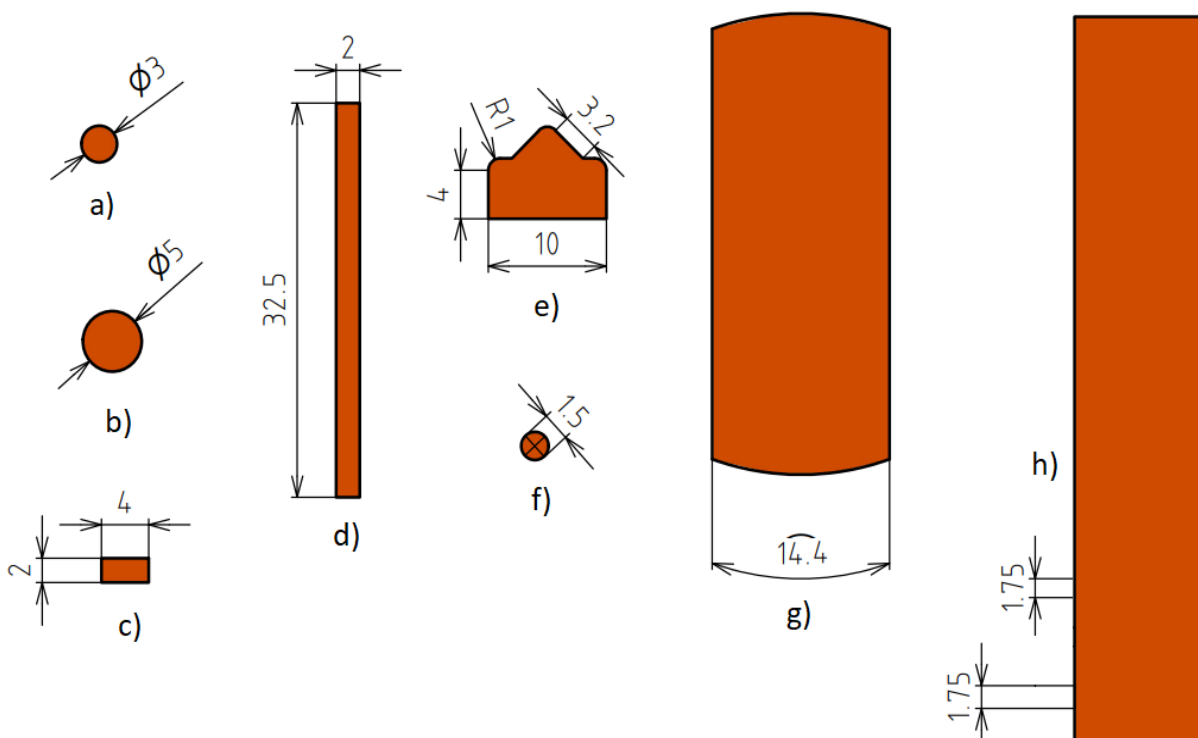
kde:  $n$  – součinitel opotřebení zvolen 1,3,

$L_1$  – délka křivky stříhu je pro tento střížník určena obvodem jeho průřezu:

$$L_1 = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 3 = 9,42 \text{ mm.} \quad (3.8)$$

Tab. 7 Velikosti střížných sil.

Střížník	Délka stříhu $L_i$ [mm]	Střížná síla $F_{si}$ [kN]	Počet střížníků	Celková síla $F_{csi}$ [kN]
Ø3 mm (obr. 57a)	9,42	1,21	1	1,21
Ø5 mm (obr. 57b)	15,7	2	2	4
2 x 4 mm (obr. 57c)	12	1,54	2	3,07
2 x 32,5 mm (obr. 57d)	69	8,83	1	8,83
tvarový (obr. 57e)	29,2	3,74	2	7,47
protrhávací (obr. 57f)	3	0,38	4	1,54
vystřihovací (obr. 57g)	29,8	3,91	1	3,91
konečný (obr. 57h)	7	0,9	1	0,9



Obr. 57 Průřezy střížníků s kótami funkčních rozměrů

Celková střížná síla „ $F_{cs}$ “ je dána součtem celkových sil vyvozených jednotlivými typy střížníků:

$$F_{cs} = \sum_{i=1}^8 F_{csi} = \quad (3.9)$$

$$= 1,21 + 4 + 3,07 + 8,83 + 7,47 + 1,54 + 3,91 + 0,9 = 30,94 \text{ kN.}$$

Specifickým druhem stříhání je protrhávání. Střížná síla na protrhávacích střížnících byla vypočtena dle stejného vzorce jako u ostatních, přičemž délka křivky stříhu byla určena jako dvojnásobek průměru protrženého otvoru. To odpovídá celkové dráze, na které dojde k porušení spojitosti materiálu. Výpočet však nezohledňuje fakt, že stříh neprobíhá na celé délce současně, ale postupně v průběhu pronikání jehlanového hrotu do materiálu. Skutečná hodnota potřebné síly je tímto zmenšována. Naopak její zvětšování lze předpokládat v důsledku plastické deformace vznikajících hrotů ohýbáním, respektive lemováním otevřeného lemu. Vypočtená hodnota uvedená v tabulce 7 je tedy pouze orientační, nicméně vzhledem k nízké velikosti protrhávací síly nebude touto nepřesností výrazně ovlivněn další postup návrhu výroby.

- Střížná práce – je určena opět pro každý typ střížníku, viz tabulka 8. Závisí na dráze nástroje „ $h$ “, která přibližně odpovídá tloušťce materiálu 0,3 mm. Podobně jako při výpočtu síly je u protrhávání znovu zanedbávána skutečnost, že dráha nástroje, po kterou síla působí, je delší než u ostatních střížných operací. Vzorový výpočet dle vzorce (2.5) je proveden pouze pro děrovací kruhový střížník o průměru 3 mm:

$$A_{s1} = \lambda \cdot F_{s1} \cdot t = 0,55 \cdot 1,21 \cdot 0,3 = 0,2 \text{ J,}$$

kde:  $\lambda$  – zvoleno 0,55.

Tab. 8 Velikosti střížných prací.

Střížník	Střížná práce $A_{si}$ [J]	Počet střížníků	Celková práce $A_{csi}$ [J]
Ø3 mm (obr. )	0,2	1	0,2
Ø5 mm	0,33	2	0,67
2 x 4 mm	0,25	2	0,51
2 x 32,5 mm	1,46	1	1,46
tvarový	0,61	2	1,23
protrhávací	0,06	4	0,25
vystříhovací	0,65	1	0,65
konečný	0,15	1	0,15

Celková střížná práce „ $A_{cs}$ “ je dána součtem celkových prací vykonaných silami od jednotlivých typů střížníků:

$$A_{cs} = \sum_{i=1}^8 A_{csi} = \quad (3.10)$$

$$= 0,2 + 0,67 + 0,51 + 1,46 + 1,23 + 0,25 + 0,65 + 0,15 = 5,1 \text{ J}$$

- Ohybová síla – je pro ohyb ve tvaru „U“ na šířce 34,5 mm bez použití přidržovače určena ze vztahu (2.15):

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot Re}{R_o + t} = (1 + 7 \cdot 0,1) \cdot \frac{34,5 \cdot 0,3^2 \cdot 320}{0,2 + 0,3} = 3\,378 \text{ N.}$$

- Ohybová práce – je dána vztahem (2.17):

$$A_U = F_{CU} \cdot \psi \cdot h = 3\,378 \cdot 0,6 \cdot 0,002 = 4,05 \text{ J,}$$

kde:  $\psi$  – zvoleno 0,6.

- Razicí síla – je přibližně dána vztahem (2.18):

$$F_R = L_P \cdot t \cdot R_m \cdot k = 26 \cdot 0,3 \cdot 410 \cdot 1 = 3\,198 \text{ N,}$$

kde:  $k$  – součinitel zvolen 1.

- Razicí práce – lze přibližně určit vztahem (2.19):

$$A_R = 0,5 \cdot F_R \cdot h_r = 0,5 \cdot 3,2 \cdot 0,7 = 1,12 \text{ J}$$

Celková hodnota tvářecí síly je při zjednodušeném předpokladu, že maximální zatížení ve všech operacích nastane současně, dána součtem dílčích výsledků pro jednotlivé technologie. Skutečný průběh silového působení bude rozložen na delší časový úsek a maximální hodnota bude o něco nižší. Uvažování vyšší síly, se kterou bude počítáno při konstrukčním návrhu nástroje a při volbě stroje, není nevýhodné. Právě naopak je tím zaručena vyšší bezpečnost a celková síla tedy může být určena následovně:

$$F_{Ct} = F_{CS} + F_U + F_R = 30,94 + 3,38 + 3,2 = 37,52 \text{ kN.} \quad (3.11)$$

Celková práce je dána vztahem:

$$A_{Ct} = A_{CS} + A_U + A_R = 5,1 + 4,05 + 1,12 = 10,27 \text{ J.} \quad (3.12)$$

### 3.4.1 Těžiště sil

Těžiště jednotlivých tvářecích sil je působištem jejich výslednice, tedy celkové tvářecí síly „ $F_{Ct}$ “. Do tohoto místa je při konstrukci nástroje zapotřebí umístit upínací stopku, případně u větších nástrojů bez stopky musí toto místo ležet v ose lisu.

Vzhledem k symetrickému uspořádání všech operací vůči ose šířky pásového polotovaru je zřejmé, že těžiště sil bude ležet právě na této ose symetrie a kvůli jednoduchosti výpočtu je výhodné na ni umístit počátek souřadného systému. Konkrétně je pak jeho poloha volena na začátku rozvinuté délky součásti v prvním kroku. Vzdálenosti působišť sil jednotlivých tvářecích operací od tohoto bodu jsou graficky znázorněny na obrázku 58. Poloha výsledného těžiště v podélném směru je dána vztahem (2.21):

$$X = \frac{F_{SC} \cdot x_s + F_U \cdot x_u + F_R \cdot x_R}{F_{SC} + F_U + F_R} =$$

$$= \frac{30,94 \cdot 99,7 + 3,38 \cdot 149,5 + 3,2 \cdot 57,5}{30,94 + 3,38 + 3,2} = 100,6 \text{ mm,}$$

kde:  $x_s$  – poloha působišť výslednice střižných sil daná vztahem (2.21):

$$x_s = \frac{\sum_{i=1}^8 F_{Csi} \cdot x_{si}}{\sum_{i=1}^8 F_{Csi}} =$$

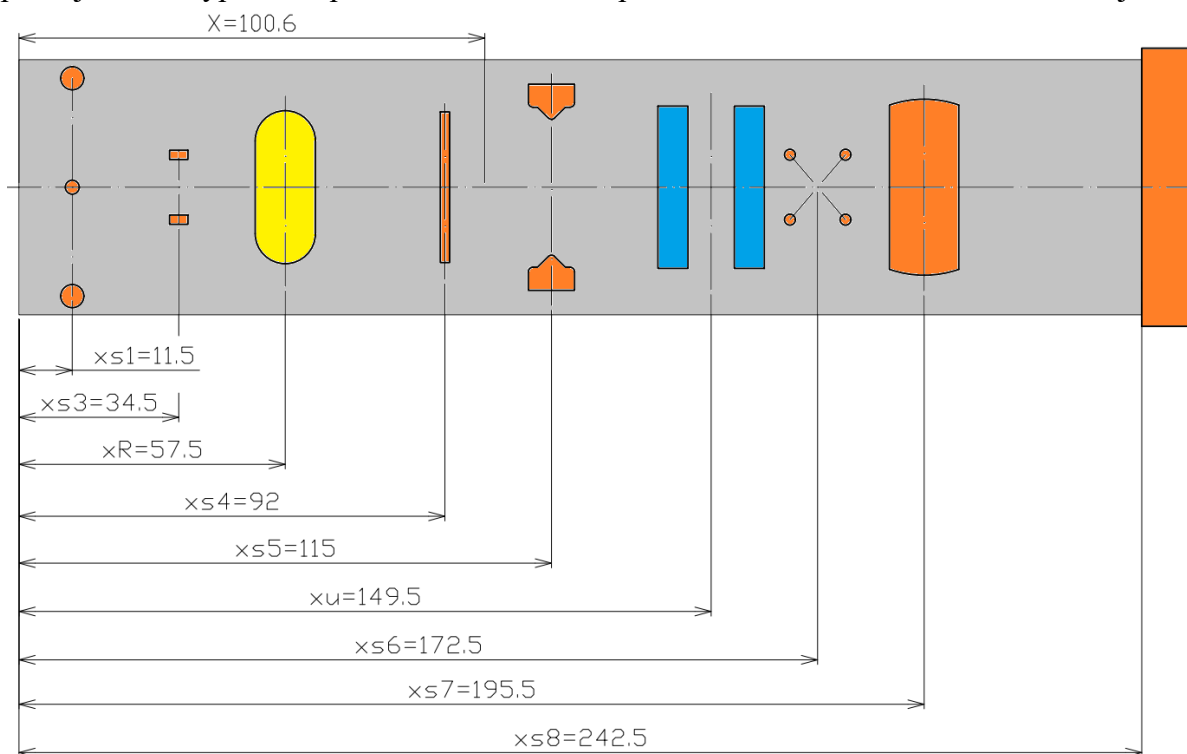
$$= \frac{1,21 \cdot 11,5 + 4 \cdot 11,5 + 3,07 \cdot 34,5 + 8,83 \cdot 92 + 7,47 \cdot 115 +$$

$$+ 1,54 \cdot 172,5 + 3,91 \cdot 195,5 + 0,9 \cdot 241,5}{1,21 + 4 + 3,07 + 8,83 + 7,47 +$$

$$+ 1,54 + 3,91 + 0,9} = 99,7 \text{ mm}$$



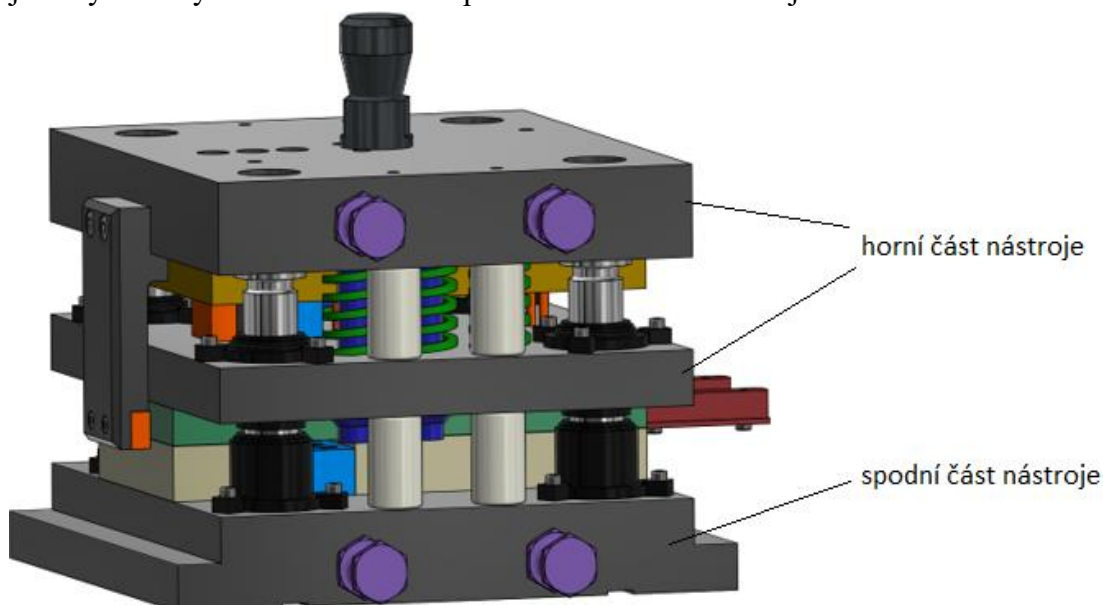
Vypočtená poloha působíště tvářecích sil, viz obr. 58, leží v podélném směru 100,6 mm od okraje součásti v první operaci. V příčném směru pak vzhledem k symetrii leží v polovině šířky pásu, tedy 27,5 mm od okraje. Toto umístění ale není konečné, kvůli přítomnosti odpruženého vedení, které musí vyvinout dostatečnou sílu k vytvoření prolisu ve třetím kroku. Silové působení vyvozené stlačením pružin, které budou do nástroje navrženy, ovlivní polohu těžiště, proto je nutné vypočítat upřesněnou hodnotu až po znalosti konstrukčního řešení nástroje.



Obr. 58 Poloha těžiště tvářecích sil

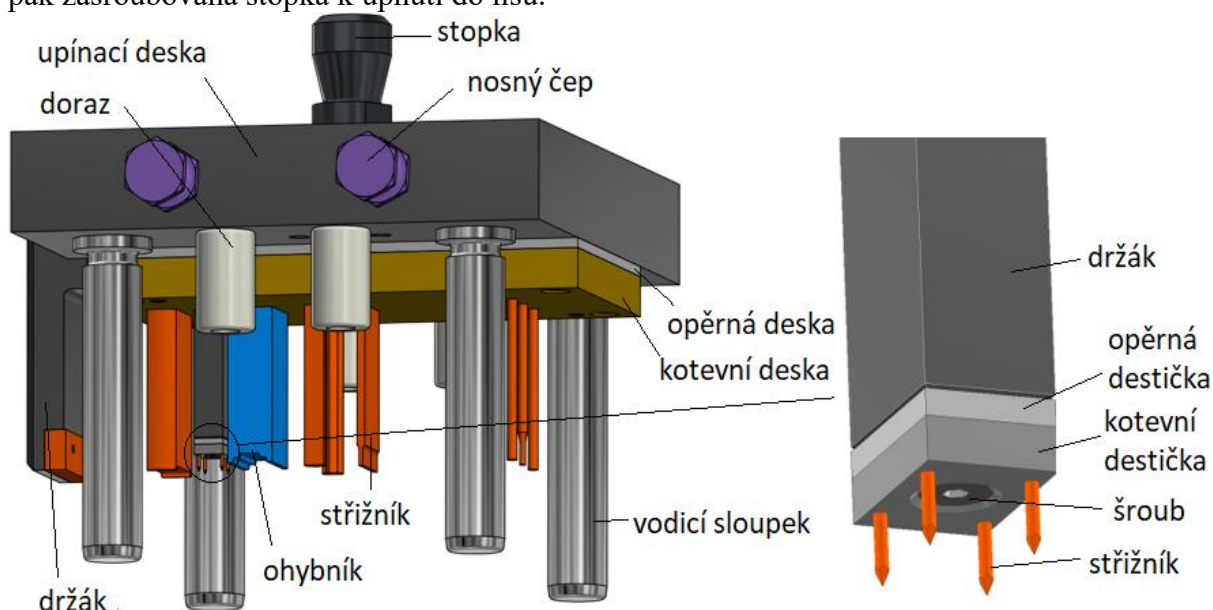
### 3.5 Konstrukční návrh nástroje [48], [49], [50]

Konstrukce nástroje je navrhována na základě zvoleného výrobního postupu. Pro popis jednotlivých dílů a zjednodušený popis jejich sestavení lze nástroj rozdělit na horní a dolní část, které jsou vyznačeny na 3D modelu kompletně sestaveného nástroje na obrázku 59.



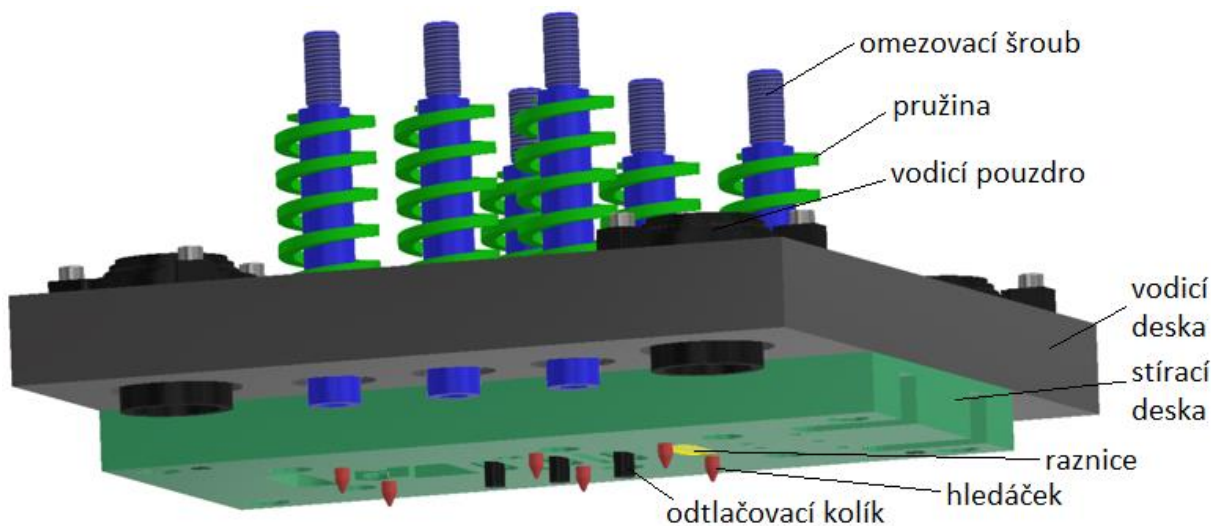
Obr. 59 Model nástroje

Základní součástí horní poloviny nástroje je podskupina upínací desky (obr. 60). Do samotné desky jsou při sestavování nejprve uloženy vodící kolíky. Do kotevní desky jsou uloženy střížníky pro střížné operace prováděné v prvním, druhém a čtvrtém kroku. Na spodní stranu upínací desky je přiložena opěrná deska, která je poté spolu s kotevní deskou šrouby a kolíky upevněna na desku upínací. V dalším kroku je nutné složit podsestavu protrhávacího nástroje pro osmý krok. Skládá se ze čtyř střížníků s osazením, které jsou vloženy do kotevní destičky. Ta je potom přišroubována přes opěrnou destičku k držáku. Podsestava je spolu se dvěma tvarovými střížníky pro pátý krok, ohybníkem pro sedmý krok a vystřihovacím střížníkem pro krok devátý vložena do kotevní desky. Návazně jsou tyto díly zajištěny proti pohybu přišroubováním z horní strany upínací desky. Nakonec jsou ke spodní straně desky přišroubovány čtyři dorazy a na čelo držák se střížníkem k dělení odpadu. Na horní stranu je pak zašroubována stopka k upnutí do lisu.



Obr. 60 Popis podskupiny upínací desky

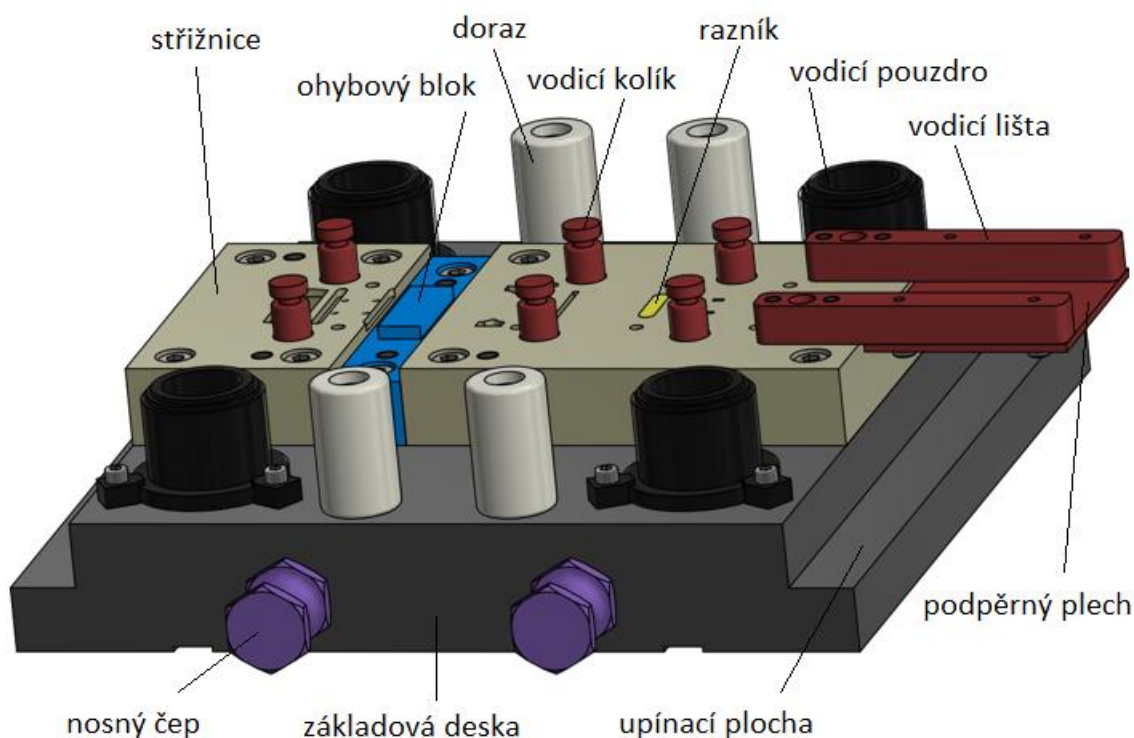
Další významnou podsestavou horní části nástroje je podskupina vodící desky (obr. 61). Při sestavování jsou nejprve do otvorů na samotné vodící desce vloženy pružiny odtlačovacích kolíků. Následně je přiložena stírací deska, v jejíchž příslušných otvorech jsou vloženy hledáčky, odtlačovací kolíky a raznice pro třetí tvářecí krok, a přišroubováním a skolíkováním je spojena s vodící deskou. Na závěr jsou upevněna vodící pouzdra s kuličkovými klecemi.



Obr. 61 Popis podskupiny vodící desky

Podskupiny vodicí a upínací desky jsou po vsunutí sloupků do vodicích pouzder spojeny pomocí omezovacích šroubů opatřených pružinami. Tím je zajištěno odpružené pohyblivé spojení obou desek. Pohyb je vymezen na jedné straně osazením omezovacích šroubů a na straně druhé výškovými dorazy.

Sestavení spodní části, viz obr. 62, probíhá obdobně. Nejprve jsou do příslušných otvorů v základové desce vloženy pružiny vodicích kolíků a do otvorů ve střižnicích pak samotné kolíky a razník pro tváření prolisu ve třetím kroku. Následně jsou obě střižnice a ohybový segment pomocí šroubů a kolíků upevněny na základovou desku. K první střižnici jsou připevněny vodicí lišty s podpěrným plechem. Dále je provedena montáž vodicích pouzder s kuličkovými klecemi. Nakonec jsou přišroubovány dorazy a transportní čepy.



Obr. 62 Popis spodní části

Princip funkce nástroje lze popsat na jednom jeho zdvihu, který má tři fáze. První fáze začíná v horní úvratí beranu lisu, tedy v maximální vzdálenosti horní a spodní části nástroje, viz obr. 63. V prostoru mezi stírací deskou a lisovnicemi proběhne posun pásu o požadovaný krok a následuje pohyb horní části směrem dolů. Do technologických otvorů zajišťují hledáčky a korigují tak rozptyl kroku od podávacího zařízení.

Ve druhé fázi dosedá stírací deska na horní povrch pásu plechu a přitlačuje ho na plochy lisovnic, viz obr. 64. Současně dochází k tváření prolisu ve třetím kroku. K tomu je zapotřebí vyvinutí dostatečné síly pružnými elementy umístěnými mezi vodicí a upínací deskou. Pro tento účel byly zvoleny pružiny z katalogu firmy Fibro o tuhosti „ $k_{pr}$ “ 140 N/mm a nezátížené délce 64 mm. Při montáži dojde k jejich stlačení „ $x_{pr0}$ “ o délku 4 mm, aby vzniklo potřebné předpětí. Při použití celkem šesti pružin lze celkovou jimi vyvozenou sílu v momentě dosednutí pásu určit vztahem:

$$F_{pr0} = 6 \cdot k_{pr} \cdot x_{pr0} = 6 \cdot 140 \cdot 4 = 3\,360 \text{ N.} \quad (3.13)$$

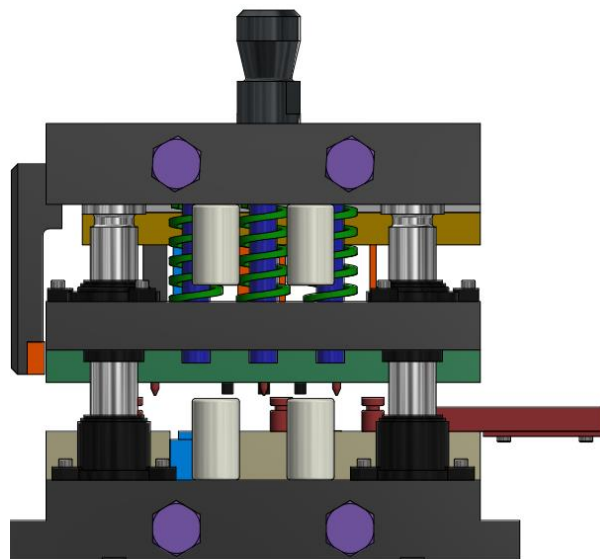
Ve třetí fázi zůstávají pás plechu a vodicí deska nepohyblivé a dále se pohybuje pouze upínací deska a na ní upevněné lisovnický. Při přiblížení, a tím i stlačení pružin „ $x_{pr1}$ “ o dalších 5 mm, dochází ke stříhu všemi střižnicemi a začíná ohyb v pátém kroku. Nastává zde maximum tvářecích sil. Pro tento moment je třeba stanovit sílu vyvozenou pružnými elementy, kterou je

pak nutné zohlednit při volbě lisu. Vzhledem k tomu, že sílu pružin vodicích a odtlačovacích kolíků lze zanedbat, je hledaná síla dána vztahem:

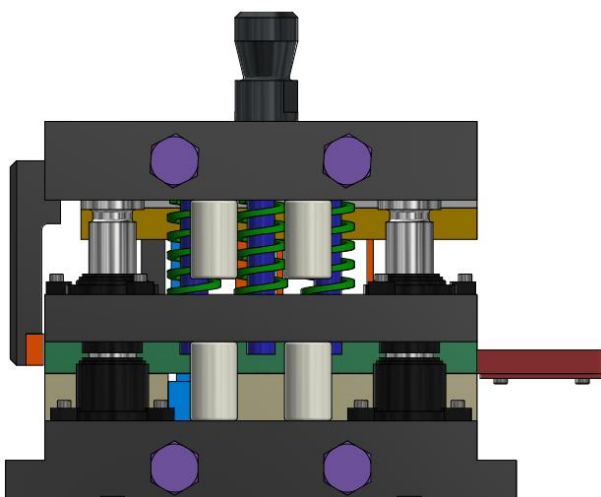
$$F_{pr1} = 6 \cdot k \cdot x_{pr1} = 6 \cdot 140 \cdot 9 = 7\,560 \text{ N.} \quad (3.14)$$

Tato síla posune také polohu těžiště silové výslednice. Vzdálenost již vypočteného působíště tvářecích sil od středu nástroje, a tedy i působíště sil pružin, má hodnotu pouze 3 mm. S přihlédnutím k faktu, že všechny síly navíc stejně nepůsobí současně, lze posunutí těžiště vlivem síly od pružných elementů zanedbat a v případě potřeby pružiny nahradit silnějšími.

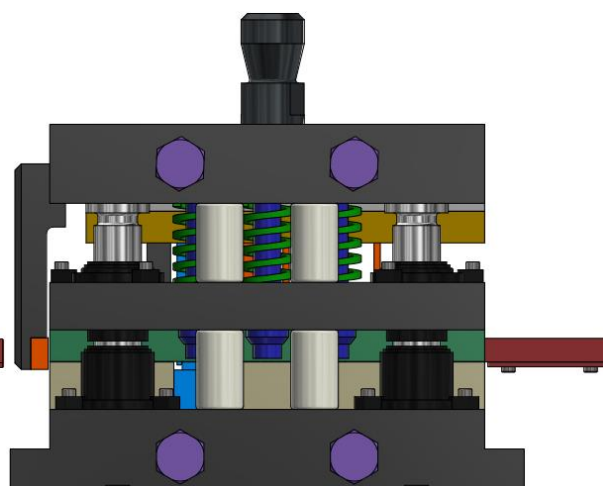
Čtvrtá fáze začíná v dolní úvratí beranu lisu (obr. 65), kdy dochází k největšímu stlačení pružin, celkem o 10 mm (bez uvažování předpětí 4 mm). V tomto bodě je dokončen ohyb v pátém kroku. Začíná pohyb horní části nástroje směrem nahoru. V momentě dosažení původní vzdálenosti mezi vodicí a upínací deskou je vodicími kolíky nadzdviháván pás nad povrch lisovnice tak, aby nedocházelo ke kolizím s tvarovými prvky vystupujícími pod spodní povrch pásu při posouvání. Strážníky jsou vytahovány z vytvořených otvorů pomocí stírací desky, do které se zasunují. Aby se předešlo ulpívání plechu na stírací desce v důsledku použití maziva, je pás od desky oddělen odpruženými odtlačovacími kolíky a horní hranou zápichu na vodicích kolících. Horní část nástroje se vrací do horní úvratí a proces se opakuje.



Obr. 63 Otevřený nástroj v horní úvratí



Obr. 64 Dosednutí vodicí desky



Obr. 65 Sevřený nástroj ve spodní úvratí

Mezi funkční části umístěné na spodní polovině nástroje patří dvě strážnice, razník a ohybový segment. V horní polovině se pak nacházejí všechny strážníky, ohybník a raznice upevněná ve stírací desce. Tyto díly zajišťují samotné tváření plechu a jsou tedy nejvíce namáhány. Materiálem navrženým pro tyto díly je chrom-wolfram-molybdenová nástrojová ocel s označením ČSN 41 9573. Tepelné zpracování sestává z kalení a popouštění na  $60 \pm 2$  HRC.

Po návrhu základní koncepce nástroje je nutné provést alespoň základní kontrolní výpočty následujících parametrů:

- Minimální tloušťka střižnice:

$$H = \sqrt[3]{F_{CS}} = \sqrt[3]{30\,940} = 31,4 \text{ mm.} \quad (3.15)$$

S ohledem na podložení střižnice základovou deskou navržená tloušťka 30 mm vyhovuje.

- Kontrola na otláčení:

- kontaktní napětí na střižníku o průměru 5 mm:

$$\sigma_{\text{kont2}} = \frac{F_{s2}}{S_{\text{kont2}}} = \frac{2\,009,3}{50,3} = 40 \text{ MPa,} \quad (3.16)$$

kde:  $S_{\text{kont2}}$  – kontaktní plocha střižníku o průměru 5 mm [mm<sup>2</sup>],

- kontaktní napětí na střižníku obdélníkového průřezu 2x4:

$$\sigma_{\text{kont3}} = \frac{F_{s3}}{S_{\text{kont3}}} = \frac{1\,540}{30,25} = 51 \text{ MPa,} \quad (3.17)$$

kde:  $S_{\text{kont3}}$  – kontaktní plocha střižníku obdélníkového průřezu 2x4 [mm<sup>2</sup>],

- kontaktní napětí na střižníku obdélníkového průřezu 2x32,5:

$$\sigma_{\text{kont4}} = \frac{F_{s4}}{S_{\text{kont4}}} = \frac{8\,826,5}{227,5} = 39 \text{ MPa,} \quad (3.18)$$

kde:  $S_{\text{kont4}}$  – kontaktní plocha střižníku obdélníkového průřezu 2x32,5 [mm<sup>2</sup>],

- kontaktní napětí na tvarovém střižníku:

$$\sigma_{\text{kont5}} = \frac{F_{s5}}{S_{\text{kont5}}} = \frac{3\,735,8}{58,1} = 64 \text{ MPa,} \quad (3.19)$$

kde:  $S_{\text{kont5}}$  – kontaktní plocha tvarového střižníku [mm<sup>2</sup>]

Vypočteny byly hodnoty pouze pro kritické střižníky. I u těch jsou však díky malé tloušťce tvářeného plechu, a s ní souvisejícím nízkým hodnotám střižných sil, hodnoty kontaktního tlaku relativně nízké. Použití kalené opěrné desky tedy není nutné, přesto je pro zvýšení bezpečnosti její přítomnost v nástroji navržena.

- Kontrola na vzpěr dle (2.25):

$$l_{k2} = \pi \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot E \cdot I}{F_{s2} \cdot k_k}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 5^4}{64}}{2\,009 \cdot 2}} = 252 \text{ mm,}$$

kde: koeficient bezpečnosti zvolen 2.

Výpočet kritické délky je proveden pouze pro střižník o průměru 5 mm. Získaná hodnota výrazně převyšuje volnou délku střižníku. Vzhledem k nízkým působícím silám a vedení ve vodící desce nemá smysl výpočet pro další střižníky provádět.

Důležitým parametrem pro návrh rozměrů funkčních částí je pro střižníky a střižnice střižná vůle, která je rovna dvojnásobku střižné mezery, daná vztahem (2.1):

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_s} = 2 \cdot 0,01 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,8 \cdot 410} = 0,03 \text{ mm,}$$

kde: koeficient „c“ zvolen 0,01.

Analogicky je třeba stanovit ohybovou mezeru. Ta je navržena jako shodná s tloušťkou materiálu, tedy 0,3 mm.



Určení funkčních rozměrů střížnice a střížníku je provedeno na příkladu děrování otvoru pro čep o průměru 3 mm. Mezní úchytky  $\pm 0,1$  mm jsou pro tento rozměr dány normou ČSN ISO 2768-m. Tolerance děrovaného otvoru tedy odpovídá stupni IT 13. Toleranční stupeň rozměrů nástrojů potom lze stanovit dle přílohy 3 na IT 10. Po úpravě pro symetrickou odchylku jmenovitého rozměru lze průměr střížníku určit dle vztahu (2.29) následovně:

$$A_{kd2} = (A_{j2} + 0,8 \cdot \Delta_{d2}) - \delta_{k2} = (3 + 0,8 \cdot 0,1) - 0,048 = 3,08 - 0,048 \text{ mm},$$

kde:  $A_{jd2} = 5 \text{ mm}$ ,

$\delta_{k2} = 0,048 \text{ mm}$ ; dle tolerančního stupně IT 10.

Podobně lze určit i průměr střížnice dle vztahu (2.28):

$$A_{ed2} = (A_{j2} + 0,8 \cdot \Delta_{d2} + v) + \delta_{e2} = (3 + 0,8 \cdot 0,1 + 0,03) + 0,048 = 3,11 + 0,048 \text{ mm},$$

kde:  $\delta_{e2} = 0,048 \text{ mm}$ ; dle tolerančního stupně IT 10.

Vypočtené hodnoty rozměrových tolerancí v tisícinách jsou sice při použití některých obráběcích technologií vyrobitelné, ale pro výrobu zadané součásti příliš přesné. Proto budou odchylky na výrobních výkresech zaokrouhleny na setiny. Rozhodující bude především dodržení správné střížné vůle.

### 3.6 Volba stroje [51], [52], [53]

Při volbě stroje je nutné zohlednit zejména maximální sílu potřebnou ke správné funkci nástroje. Hodnotu této celkové maximální síly „ $F_C$ “ lze stanovit součtem celkové tvářecí síly a síly vyvozené pružnými elementy v momentě průběhu tvářecího procesu, tj. při stlačení vodicí desky o 5 mm. Číselně ji tedy lze vyjádřit vztahem:

$$\begin{aligned} F_C &= F_{Ct} + F_{PR1} = \\ &= 30\,936 + 7\,560 = 38\,496 \text{ N}. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Díky malé tloušťce plechu a malým rozměrům součásti je hodnota celkové síly velmi nízká a volba stroje jí v podstatě není omezena. Vybrán byl výstředníkový lis s označením LEN 40 C (obr. 66) vhodný pro univerzální použití v oblasti plošného tváření. Jedná se o starší typ od tradičního českého výrobce lisů, firmy Šmeral. Pohon je zajištěn přepínatelným dvouotáčkovým motorem, díky kterému lze měnit počet zdvihů za minutu. Dále stroj disponuje centrálním mazáním a jmenovitou silou 400 kN. Důležité rozměrové parametry jako je upínací plocha stolu, vyložení, sevřená výška a zdvih, uvedené v tabulce 9, pro navržený nástroj vyhovují. Široký rozsah nastavitelného zdvihu pak zajišťuje proveditelnost přebroušení střížnic a střížníků při jejich opotřebení, po kterém bude nutné hodnotu zdvihu upravit. Maximální sevřená výška umožňuje podložení nástroje podpěrnými bloky. Mezi nimi budou umístěny skluzy pro odvod odpadu do propadového otvoru a skluzy či pásové dopravníky pro přepravu hotových kusů. Na stole lisu se nacházejí diagonální drážky na upínky, kterými bude za osazení na základové desce ke stroji upevněna spodní část nástroje. Upevnění horní části k beranu lisu pak bude realizováno stopkou. Před uvedením nástroje do provozu je vhodné zvážit vybavení lisu kryty, pohybovými čidly, či dalšími prvky pro zvýšení bezpečnosti obsluhy.



Obr. 66 Lis LEN 40 C



Tab. 9 Parametry výstředníkového lisu LEN 40 C [51], [52].

Jmenovitá síla [kN]	400
Velikost zdvihu [mm]	8 ÷ 95
Délka pracovního stolu [mm]	660
Šířka pracovního stolu [mm]	530
Vyložení [mm]	265
Sevřená výška [mm]	295
Počet zdvihů [min <sup>-1</sup> ]	70 ÷ 140
Příkon [kW]	4 ÷ 7
Výška stroje [mm]	2 370
Délka stroje [mm]	1 585
Šířka stroje [mm]	1 245
Hmotnost stroje [t]	4,5

V součinnosti s tvářecím strojem musí pracovat odvíjecí, rovnací a podávací zařízení, jejichž úkolem je dodávat pásový polotovár do nástroje. Může jít o sérii tří různých strojů, pro výrobu dílu je však navrženo strojní zařízení kombinující všechny tři funkce s označením NCMA 200. Parametry zařízení, viz příloha 4, umožňují práci se svítky o šířce od 10 do 200 mm a tloušťce plechu od 0,15 do 2,2 mm, což vyhovuje z hlediska navrženého postupu výroby součásti.

### 3.7 Povrchová úprava [54], [55], [56]

Vzhledem k tomu, že skládací metry se v dnešní době používají především jako reklamní předměty, důležitou roli hraje jejich vzhled. Pro zlepšení estetických vlastností je na součásti navržena povrchová úprava alkalickým černěním. To zajistí také dostatečnou korozní ochranu za předpokladu, že součást nebude vystavena extrémním podmínkám. Jedná se o velmi často používanou úpravu, která na povrchu vytvoří dekorativní souvislý černý povlak o tloušťce řádově 1  $\mu\text{m}$ . Změna rozměrů součásti je tedy zanedbatelná. Ovlivněny nejsou ani mechanické vlastnosti a tvrdost. Docílí se také potřebné dobré otěruvzdornosti.

Kvalita výsledného povrchu závisí především na dodržení technologické kázně. Nejprve je zapotřebí precizní odmaštění upravovaného dílu. Pokud by nebylo provedeno dostatečně důkladně, vzniklá vrstva by byla nerovnoměrně zabarvena. Ze součásti musí být odstraněny také všechny nečistoty a případné korozní napadení. Pro dosažení lesklého povrchu je vhodné provést omletí v bubnu. Před začátkem samotného procesu černění se provádí aktivace povrchu v roztoku kyseliny chlorovodíkové a následný studený oplach vodou.

V dnešní době se pro alkalické černění používají speciální přípravky na bázi hydroxidu sodného. Ten díky přítomnosti oxidační látky, například dusičnanu draselného, reaguje se železem za vzniku specifické oxidické vrstvy. Teplota lázně se pohybuje v rozmezí 120 – 140 °C podle konkrétního použitého černicího přípravku. Po vytažení z lázně po přibližně deseti minutách je vhodné provést oplach teplou vodou. Na závěr je především pro zvýšení korozní odolnosti třeba provést konzervaci ve vhodném prostředku.

Základní nevýhodou černění je především zatížení životního prostředí používanými chemikáliemi. Pro zmírnění nebo odstranění těchto ekologických nedostatků se stále pracuje na vývoji nových složení lázní.

### 3.8 Technologický postup

Pro navržený způsob výroby zadané součásti, zámku skládacího metru, byl stanoven technologický postup uvedený v tabulce 10.

Tabulka 10 Technologický postup výroby

Číslo operace	Popis operace	Nástroj, pomůcky	Stroj
1	Upnutí nástroje do lisu <ul style="list-style-type: none"><li>- nastavení zdvihu 40 mm</li><li>- podložení nástroje bloky o výšce 65 mm</li></ul>	výkres č.: 2021_DP_183266_SN	LEN 40 C
2	Zavedení pásu <ul style="list-style-type: none"><li>- uložení svitku na odvíječ</li><li>- zavedení do rovnacího zařízení</li><li>- nastavení kroku podavače na 23 mm</li><li>- výroba vzorků pro seřízení stroje</li></ul>	Svitek plechu DC01, tl. 0,3 mm	LEN 40 C, NCMA 200
3	Tváření ve sdruženém nástroji		LEN 40 C, NCMA 200
4	Kontrola dle kontrolní návodky <ul style="list-style-type: none"><li>- vizuální kontrola otřepů</li><li>- kontrola otvoru pro čep</li></ul>	Referenční vzorek, kalibr - Ø3 mm	
5	Povrchová úprava alkalické černění <ul style="list-style-type: none"><li>- odmaštění a omletí</li><li>- moření v kyselině 1-20 min</li><li>- studený oplach</li><li>- ponoření do lázně 120-140 °C (teplota dle údajů na přípravku), 6-20 min</li><li>- teplý oplach</li><li>- ponoření do konzervačního prostředku</li></ul>		
6	Kontrola a expedice na další stanoviště		

## 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Vhodnost zvoleného řešení je třeba posoudit také na základě ceny, za kterou je zámek skládacího metru ziskově prodejný. K jejímu stanovení slouží technicko – ekonomické zhodnocení. Ve výpočtu nebudou zahrnuty náklady na povrchovou úpravu černěním, kterou je na součásti nutné provést kvůli ochraně proti korozi a estetickým vlastnostem. V tomto ohledu je potřeba rozhodnout, zda bude povrchová úprava prováděna na hotové součásti, nebo již na plechovém polotovaru. V technologickém postupu byla předběžně zařazena až za tvářecí operace, z ekonomického hlediska by ale s největší pravděpodobností byla výhodnější varianta druhá. Například na výrobě testovací série je třeba posoudit, zda by povrchová úprava již na polotovaru dostačovala z hlediska estetického a splňovala nároky na korozní odolnost. Dále nebudou výpočty zohledňovat náklady na dopravu. Tyto náklady by bylo vhodnější pro konkrétní řešenou součást stanovit až jako podíl z celkových transportních nákladů výrobního závodu. Také nejsou započítány pořizovací náklady strojního vybavení, kvůli předpokladu, že jím daná firma již disponuje. Náklady, které budou v kalkulaci zahrnuty, lze rozdělit do následujících kategorií:

- Náklady na nástroj – zahrnují výdaje spojené s nákupem, tepelným zpracováním materiálů a jejich obráběním a nákupem normalizovaných dílů. Jejich přesnější určení by bylo realizovatelné detailním rozbořem a cenovým návrhem odborné nástrojárny. Pro účely práce byly náklady na nástroj „N<sub>N</sub>“ odhadnuty podle podobných nástrojů na 200 000 Kč.
- Náklady na materiál – jako polotovar pro výrobu součásti byl zvolen svitek ocelového plechu DC01 o tloušťce 0,3 mm a šířce 55 mm. Vnější průměr svitku je 1 000 mm a vnitřní průměr, odpovídající minimálnímu průměru umístitelnému na odvíjecí zařízení, činí 508 mm. K výrobě dané série je zapotřebí 1,2 kusu tohoto svitku. Obvykle je nutné toto číslo zaokrouhlit nahoru, protože není možné zakoupit pouze dvě desetiny svitku. Lze však předpokládat, že závod na výrobu skládacích metrů bude kromě zadané součásti v obdobných sériích produkovat také protikus o stejných rozměrech a případně i podobné součásti na další typy metrů. Potom by bylo výhodné navrhnout pro všechny součásti tento univerzální polotovar. Celkovou hmotnost materiálu pro výrobu série zadané součásti lze za tohoto předpokladu vypočítat podle vztahu:

$$m_c = m_{sv} \cdot P_{sv} = 252 \cdot 1,2 = 303 \text{ kg.} \quad (4.1)$$

Při stanoveném využití materiálu 60 % lze vypočítat také hmotnost odpadového materiálu „m<sub>od</sub>“ následovně:

$$m_{od} = m_c \cdot 0,4 = 303 \cdot 0,4 = 121 \text{ kg.} \quad (4.2)$$

Cena za kilogram materiálu „C<sub>m</sub>“ není konstantní, ale mění se v závislosti na stavu trhu. Výhodný nákup vstupního materiálu je tak často klíčový pro ziskovost výroby. Pro potřeby orientačního výpočtu byla tato hodnota odhadem stanovena na 25 Kč/kg a výkupní cena odpadového materiálu „C<sub>od</sub>“ na 3,50 Kč/kg. Celkové náklady na materiál „N<sub>mat</sub>“ pak činí:

$$N_{mat} = m_c \cdot C_m - m_{od} \cdot C_{od} = 303 \cdot 25 - 121 \cdot 3,50 = 7\,152 \text{ Kč.} \quad (4.3)$$

- Náklady na mzdy – jsou uvažovány na jednoho dělníka, jehož pracovní náplní bude výměna svitkového polotovaru, manipulace s odpadem a hotovými kusy a základní údržba stroje a nástroje. Pracovní doba „t<sub>prac</sub>“ obvykle činí 7,5 hodin na směnu, z čehož předpokládaný výrobní čas „t<sub>tv</sub>“ je 6,5 hodin. Zbývajících jedna hodina z celkové pracovní doby je vyhrazena na údržbu a kontrolu. Uvažovaná hodinová mzda dělníka

M je 100 Kč/h. Ke stanovení celkových mzdových nákladů je třeba určit následující parametry:

➤ počet kusů vyrobených za hodinu:

$$n_{ksh} = n_{zd} \cdot 60 = 70 \cdot 60 = 4\,200 \text{ ks}, \quad (4.4)$$

kde:  $n_{zd}$  – počet zdvihů za minutu, dle tabulky [ $\text{min}^{-1}$ ],

➤ počet kusů vyrobených za směnu:

$$n_{kss} = n_{ksh} \cdot t_{výr} = 4\,200 \cdot 6,5 = 27\,300 \text{ ks}, \quad (4.5)$$

➤ počet směn na výrobu série 100 000 ks:

$$n_s = \frac{100\,000}{n_{kss}} = \frac{100\,000}{27\,300} = 3,7 \rightarrow 4 \text{ směny}, \quad (4.6)$$

➤ počet pracovních hodin na výrobu série:

$$n_h = n_s \cdot t_{prac} = 4 \cdot 7,5 = 30 \text{ h}. \quad (4.7)$$

Výsledné náklady na mzdy  $N_m$  lze následně určit dle vztahu:

$$N_m = n_h \cdot M = 30 \cdot 100 = 3\,000 \text{ Kč}. \quad (4.8)$$

▪ Náklady na energie:

$$N_{en} = (P_{lis} + P_{orp}) \cdot C_{el} \cdot n_h = (4 + 4,25) \cdot 4 \cdot 30 = 990 \text{ Kč}, \quad (4.9)$$

kde:  $P_{lis}$  – příkon lisu dle tabulky [kW],

$P_{orp}$  – příkon odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení dle přílohy 4 [kW],

$C_{el}$  – cena elektrické energie [Kč/kWh].

▪ Náklady na režie – jsou nepřímé náklady podniku, spojené s provozem a řízením. Zahrnují například platy administrativních a vedoucích pracovníků, odpisy strojů atd. Vzhledem k tomu, že tyto údaje nejsou známy, budou náklady spočítány jako násobek mzdových nákladů dělníka následujícím vztahem:

$$N_r = N_m \cdot 4,5 = 3\,000 \cdot 4,5 = 13\,500 \text{ Kč}. \quad (4.10)$$

Ze znalosti dílčích položek nákladů lze určit výrobní náklady jednoho zhotoveného kusu, které jsou dány podílem součtu všech nákladů ku výrobní sérii:

$$\begin{aligned} N_{ks} &= \frac{N_n + N_{mat} + N_m + N_{en} + N_r}{100\,000} = \\ &= \frac{200\,000 + 7\,152 + 3\,000 + 990 + 13\,500}{100\,000} = 2,25 \text{ Kč}. \end{aligned} \quad (4.11)$$

Při marži 50 % je pak tržní cena výrobku:

$$C_{ks} = N_{ks} \cdot 1,5 = 2,25 \cdot 1,5 = 3,38 \text{ Kč}. \quad (4.12)$$

Tržba za výrobu celé série:

$$T_c = C_{ks} \cdot 100\,000 = 3,38 \cdot 100\,000 = 338\,000 \text{ Kč}. \quad (4.13)$$

Z výpočtu plyne, že největší finanční zátěží jsou náklady na výrobu nástroje patřící mezi tzv. fixní náklady nezávislé na objemu výroby. To platí za předpokladu výroby pouze jedné série dílu. Standardně předpokládaná životnost postupových nástrojů je 1 000 000 zdvihů, což by v ideálním případě odpovídalo výrobě deseti sérií. Náklady na nástroj pro každou z nich by tak byly desetinové a tržby by zejména díky nízkým nákladům na materiál a energie byly výrazně vyšší. Do celkových fixních nákladů je třeba přičíst také náklady na režie:

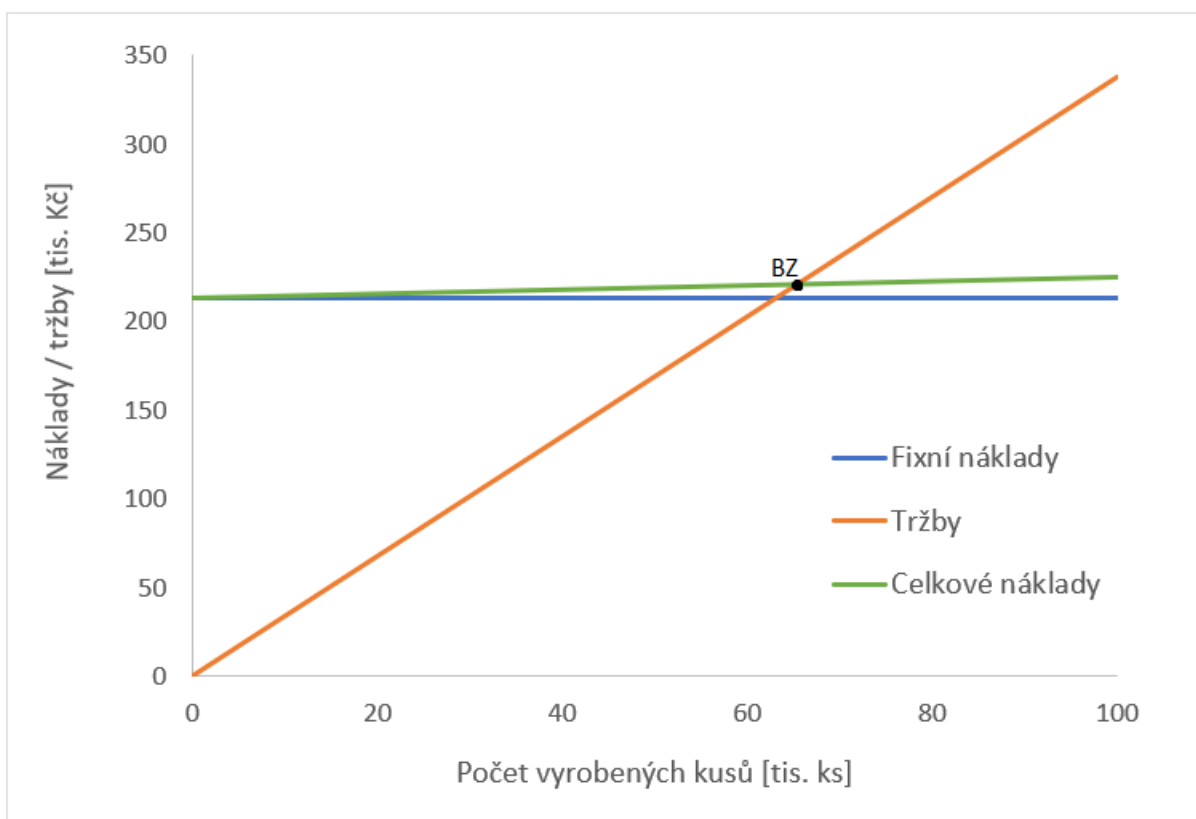
$$N_{fix} = N_n + N_r = 200\,000 + 13\,500 = 213\,500 \text{ Kč}. \quad (4.14)$$

Variabilní náklady závislé na objemu výroby jsou pak dány vztahem:

$$N_{var} = \frac{N_{mat} + N_m + N_{en}}{100\,000} = \frac{7\,152 + 3\,000 + 990}{100\,000} = 0,11 \frac{\text{Kč}}{\text{ks}}. \quad (4.15)$$

Nakonec je třeba stanovit bod zvratu, tedy počet kusů, ve kterém se nachází pomyslná rovnováha mezi příjmy a výdaji V grafu je bod zvratu vyznačen na průsečíku celkových nákladů a tržeb. Od tohoto počtu vyrobených kusů se výroba stává ziskovou:

$$BZ = \frac{N_{fix}}{C_{ks} + N_{var}} = \frac{213\,500}{3,38 - 0,11} = 65\,290 \text{ ks.} \quad (4.16)$$



Obr. 67 Grafické znázornění závislosti nákladů a tržeb na počtu vyrobených kusů

Z grafu vyplývá, že produkce dílu dle navrženého postupu bude výdělečná. Předpokládaný zisk z výroby celé série před zdaněním odpovídá rozdílu tržeb a celkových nákladů. Z grafu lze tuto hodnotu určit přibližně jako 100 000 Kč. V praxi je však určující především ziskovost finálního produktu, tedy kompletního skládacího metru, čemuž je nutné přizpůsobit procentuální ziskovou přírážku na jeho jednotlivých dílech, tedy i na zadané součásti. Získané hodnoty v tomto ekonomickém zhodnocení jsou proto pouze orientační.

## 5 ZÁVĚRY

Řešenou součástí je zámek skládacího metru, který spolu s dalšími díly kloubového mechanismu zajišťuje sousedící lamely metru v přímé poloze. Navrženým materiálem je ocel DC01+LC o tloušťce 0,3 mm. Základní rozměry součásti jsou délka 38 mm, šířka 17 mm a výška 3,2 mm. Výrobní série činí 100 000 ks/rok. Z rozboru různých variant výroby byla zvolena technologie tváření v postupovém sdruženém nástroji umožňujícím provedení všech potřebných střížných, razicích a ohybových operací.

Z provedeného rozboru technologičnosti nebylo nutné vyvozovat žádné konstrukční úpravy a součást byla posouzena jako bezproblémově vyrobitelná. Na základě vypočítaného rozvinutého tvaru byly následně porovnány tři použitelné možnosti uspořádání na pásovém polotovaru. Vybráno bylo příčné jednořadé rozmístění zahrnující rozšíření pásu o rozměr potřebný k realizaci technologických otvorů pro hledáčky. Polotovarem je svitek o šířce 55 mm, jehož procentuální využití je pro zvolené rozmístění přibližně 60 %. Navržený postup výroby sestává z jedenácti kroků. Výpočtem stanovená maximální síla potřebná k provedení všech tvářecích operací v jednotlivých krocích má hodnotu 30,9 kN.

Konstrukce navrženého nástroje odpovídá zvolenému postupu výroby. Její součástí je odpružená vodící deska. V důsledku stlačení nástrojových pružin je celková potřebná jmenovitá síla tvářecího stroje zvětšena na 38,5 kN. Na základě požadované jmenovité síly a rozměrů nástroje byl zvolen výstředníkový lis LEN 40 C.

Technicko-ekonomickým zhodnocením byla orientačně posouzena rentabilita navrženého způsobu výroby. Přibližné náklady na výrobu jednoho kusu byly stanoveny na 2,25 Kč. Tržní cena při marži 50 % je potom 3,38 Kč. Bodu zvratu je dosaženo vyrobením 65 295 ks a po vyrobení celé série činí roční zisk 100 000 Kč.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [57]

1. FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text : studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012 [cit. 2021-3-20]. ISBN 978-80-248-2572-4. Dostupné z: [http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TV\\_KB/Tvareni%20kovu.pdf](http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TV_KB/Tvareni%20kovu.pdf)
2. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie tváření kovů. Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
4. Lisování kovů. *Fortell s.r.o.* [online]. Lanškroun: fortell, c2021 [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: <https://www.fortell.cz/lisovani-kovu>
5. *Skládací metry - Metrie spol. s r.o.* [online]. Loštice: Metrie spol. s r.o., c2016 [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: <https://www.metrie.cz/index.php?lang=cz&okno=false>
6. EN 10130 DC01 Steel 1.0330+ZE Material Data Sheet Equivalent, Properties. *The World Material* [online]. World Material, c2021 [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: <https://www.theworldmaterial.com/din-en-10130-dc01-steel-1-0330-material-datasheet/>
7. Cold rolled strip: Mild steel for drawing and forming purposes applications. *ARS Metal* [online]. Chemin des Tilles [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: <http://www.ars-metal.com/uploads/produits/9d5a38cf9de67c1f292adf2169e315.pdf>
8. Die Casting, Process, Defects, Designs. *Manufacturing Cost Estimation* [online]. Olney Laytonsville Road: CustomPertsNet, c2021 [cit. 2021-4-20]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/die-casting>
9. ODEHNAL, Ondřej. *Řezání vodním paprskem* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015 [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=102195](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102195). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
10. ŘEZÁNÍ – VODNÍ PAPERSEK. *Zakázková kovovýroba – obrábění, svařování, ocelové konstrukce* [online]. Slavkov u Brna: LIKO-S, c2021 [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: <https://www.liko-welding.cz/cs/rezani-vodni-paprsek>
11. MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser* [online]. [cit. 2021-3-10]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_rezani\\_laserem\\_2013\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_rezani_laserem_2013_mrna.pdf)
12. *Technologie laserového dělení. Pálení laserem - IVT centrum, spol. s r.o. Paskov* [online]. Paskov: Ivt centrum [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <http://www.ivt.cz/our-services/design-and-build/>
13. MRŇA, Libor. *Dělení a svařování svazkem plazmatu* [online]. [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_deleni\\_a\\_svarovani\\_plasmou\\_2013\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_deleni_a_svarovani_plasmou_2013_mrna.pdf)
14. Řezání (pálení) CNC plazmou. *Kovovýroba, brány, oplocení - Brány Tyl* [online]. Královopolské Vážany: Brány Tyl, c2021 [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: <https://www.branytyl.cz/zakazkove-rezani-cnc-plazmou/>

15. Děrování a vysekávání plechů. *CNC zpracování plechů, lakování a montáže, PROSTOR Design* [online]. Prachatic: PROSTOR-design, c2015 [cit. 2021-4-20]. Dostupné z: <https://www.prostor-design.cz/derovani-sekani-plechu/>
16. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.
17. Magneform (electromagnetic assembly and forming). *OpenLearn: Free Learnin from The Open University* [online]. The Open University, c1999-2020 [cit. 2021-4-20]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/magneform-electromagnetic-assembly-and-forming>
18. MAMUTOV, Alexander V., Sergey F. GOLOVASHCHENKO, Viacheslav S. MAMUTOV a John J.F. BONNEN. Modeling of electrohydraulic forming of sheet metal parts. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2015, 219, 84-100 [cit. 2021-3-18]. ISSN 09240136. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmatprotec.2014.11.045
19. Ohýbací přípravek do tvaru V. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07-ohybani/08-v%20ohyb.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/08-v%20ohyb.jpg)
20. Stamping die and metal stamping. *NEWSKY Stamping* [online]. Guangdong [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: <http://www.newsky-stamping.com/custom-precision-metal-progressive-stamping-tools-p00081p1.html>
21. Rovnací a odvíjecí zařízení-SOPREM. *KONTURA TOOLS s.r.o.* [online]. Zlín: KonturaTools, c2021 [cit. 2021-4-20]. Dostupné z: <https://www.konturatools.cz/produkt/rovnacky-plechu-odvijedla-soprem>
22. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
23. ČADA, Radek. *Technologie I* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2021-3-15]. ISBN 978-80-248-1507-7. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
24. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
25. SOLFRONK, Pavel. Technologie II - 5. přednáška: Technologie stříhání. *Technická univerzita v Liberci* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=193208>
26. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
27. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
28. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
29. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

30. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
31. NOVOTNÝ, Karel. Přípravky a nástroje: Tvářecí nástroje. *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]. Brno, 2002 [cit. 2021-3-21]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/fpn\\_pripravky\\_a\\_nastroje\\_novotny\\_zemci\\_k.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/fpn_pripravky_a_nastroje_novotny_zemci_k.pdf)
32. NEUGEBAUER, Reimund [Hrsg.] et al. *Umform- und Zerteiltechnik: Manuskript eines Kompendiums zur Unterstützung der Ausbildung an den umformtechnischen Lehrstühlen der Hochschulen Mitteldeutschlands*. Zwickau: Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2005, XIV. Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik: Berichte aus dem IWU, Band 31. ISBN 39-375-2435-5.
33. LENFELD, Petr. Technologie II: Technologické způsoby výroby dutých těles. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2021-3-21]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/10.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm)
34. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959.
35. ČADA, Radek. *Technologie I* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2021-3-21]. ISBN 978-80-2481507-7. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
36. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání: Stříhání plechu* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2013 [cit. 2021-3-21]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_005/Technologie%20tv%C3%A1%20%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D%20PLECHU.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologie%20tv%C3%A1%20%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D%20PLECHU.pdf)
37. GAJDOŠ, František. Technologie tváření kovů. *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]. Brno [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te\\_technologie\\_vyroby\\_I\\_tvareni\\_gajdos.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf)
38. LENFELD, Petr. Technologie II: Technologie plošného tváření - stříhání. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
39. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.
40. CHLÁDEK, Martin. *Výroba jezdce* [online]. Brno Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=66079](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66079). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
41. LIDMILA Zdeněk. *Přednášky k předmětu HTN-Tvářecí nástroje*. Brno. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

42. LIPKA, Ondřej. *Výroba držáku antény sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-5-11].  
Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=103161](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103161). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů.
43. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Část tvářecí stroje. *Odbor technologie tváření kovů a plastů: Studijní opory* [online]. Brno [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs\\_vyrobní\\_stroje\\_a\\_zarizeni\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf)
44. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: tvářecí stroje* [online]. Praha: ČVUT, 2007 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizení.html>
45. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů: Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015 [cit. 2021-5-11]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
46. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků. *MM Spektrum* [online]. Praha, 2011, 19. 12. 2011 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku>
47. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Spektrum* [online]. 2012 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani>
48. Normálie-FIBRO. *FIBRO* [online]. Rockford [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: <https://fibro.partcommunity.com/3d-cad-models/norm%C3%A1lie-fibro?info=fibro%2Fnormalien&cwid=2662>
49. Speciální šroubová tlačná pružina, SF. *FIBRO* [online]. Rockford [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: [https://fibro.partcommunity.com/3d-cad-models/241-14-speci%C3%A1ln%C3%AD-%C5%A1roubov%C3%A1-tla%C4%8Dn%C3%A1-pru%C5%BEina-sf-identifika%C4%8Dn%C3%AD-barva-zelen%C3%A1-din-iso-10243-fibro?info=fibro%2Fnormalien%2Ff%2Ff01%2Ff01\\_02%2F241\\_14.prj&cwid=2662](https://fibro.partcommunity.com/3d-cad-models/241-14-speci%C3%A1ln%C3%AD-%C5%A1roubov%C3%A1-tla%C4%8Dn%C3%A1-pru%C5%BEina-sf-identifika%C4%8Dn%C3%AD-barva-zelen%C3%A1-din-iso-10243-fibro?info=fibro%2Fnormalien%2Ff%2Ff01%2Ff01_02%2F241_14.prj&cwid=2662)
50. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
51. Excentrický lis SMERAL TRNAVA LEN 40 C. *UniMachines: Bazar strojů* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://unimachines.cz/excentrick%C3%BD-lis-smeral-trnava-len-40-c-1987-612.html>
52. EXCENTRICKÝ LIS - LEN 40 C - MK. *MK Použité stroje s.r.o.: Bazar strojů* [online]. Oslavany, c2019 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.mkpouzitestroje.cz/index2.php?page=detail&id=1553&kateg=60>

53. 3 In 1 Series Uncoiler, Leveller, Feeder. *GMT Engineers* [online]. Krupa Colony: GMT, c2019 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://gmtengineers.com/3-in-1-series-uncoiler-leveller-2/>
54. Alkalické černění. *MM Spektrum* [online]. 2001 [cit. 2021-5-16]. 10522. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni>
55. KUDLÁČEK, Jan. Alkalické černění ocelí. *MM Spektrum* [online]. 2008 [cit. 2021-5-16]. 80503. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni-oceli>
56. NAROVEC, David. *Analýza povrchu po řezání laserem* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=102511](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102511). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění.
57. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>
58. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vysoké učení technické v Brně, 1991. ISBN 80-214-0259-8.
59. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání v příkladech* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2021-5-20]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_005/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D%20PLECHU.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D%20PLECHU.pdf)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Vzdálenost podpěr střižnice	[mm]
A50	Tažnost	[%]
A80	Tažnost	[%]
A <sub>CS</sub>	Celková střižná práce	[J]
A <sub>CSi</sub>	Celková střižná práce i-tého typu střižníku	[J]
A <sub>Ct</sub>	Celková práce tvářecích sil	[J]
A <sub>CU</sub>	Celková ohybová práce	[J]
A <sub>ed</sub>	Rozměr střižnice při děrování	[mm]
A <sub>ev</sub>	Rozměr střižnice při vystřihování	[mm]
A <sub>jd</sub>	Jmenovitý rozměr otvoru	[mm]
A <sub>jv</sub>	Jmenovitý rozměr výstřižku	[mm]
A <sub>kd</sub>	Rozměr střižníku při děrování	[mm]
A <sub>kv</sub>	Rozměr střižníku při vystřihování	[mm]
A <sub>R</sub>	Razicí práce	[J]
A <sub>s</sub>	Střižná práce	[J]
A <sub>Si</sub>	Střižná práce i-tého střižníku	[J]
A <sub>U</sub>	Ohybová práce	[J]
b	Šířka ohýbaného plechu	[mm]
B	Šířka pásu	[mm]
b <sub>d</sub>	Šířka střižnice	[mm]
BZ	Bod zvratu	[ks]
c	Koeficient vlivu na kvalitu povrchu	[-]
C <sub>el</sub>	Cena elektrické energie	[Kč]
C <sub>ks</sub>	Tržní cena výrobku	[Kč]
C <sub>m</sub>	Nákupní cena materiálu	[Kč]
c <sub>o</sub>	Součinitel minimálního poloměru	[-]
C <sub>od</sub>	Výkupní cena odpadového materiálu	[Kč]
c <sub>s</sub>	Součinitel stírání	[-]
D <sub>sv</sub>	Vnější průměr svitku	[mm]
d <sub>sv</sub>	Vnitřní průměr svitku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E <sub>m</sub>	Šířka můstku	[mm]
f	Součinitel tření	[-]
F	Šířka postranního odpadu	[mm]
F <sub>CS</sub>	Celková střižná síla	[N]
F <sub>CSi</sub>	Celková střižná síla i-tého typu střižníku	[N]
F <sub>Ct</sub>	Celková tvářecí síla	[N]
F <sub>CU</sub>	Celková ohybová síla	[N]
F <sub>j</sub>	Jmenovitá síla lisu	[N]
F <sub>K</sub>	Kalibrační síla	[N]
F <sub>P</sub>	Síla přidržovače	[N]
F <sub>pr0</sub>	Síla pružin při předpětí	[N]
F <sub>pr1</sub>	Síla pružin v momentě maximálních tvářecích sil	[N]
F <sub>R</sub>	Razicí síla	[N]
F <sub>s</sub>	Střižná síla	[N]
F <sub>st</sub>	Stírací síla	[N]
F <sub>U</sub>	Ohýbací síla do tvaru U	[N]



$h$	Pracovní dráha ohybníku	[mm]
$H$	Tloušťka střižnice	[mm]
$h_{el}$	Hloubka elastického vniknutí	[mm]
$h_{pl}$	Hloubka plastického vniknutí	[mm]
$h_r$	Dráha razníku	[mm]
HRC	Tvrdost dle Rockwella	[-]
$h_s$	Hloubka vniknutí střižných hran	[mm]
HV	Tvrdost dle Vickerse	[-]
$I$	Kvadratický moment průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
$k$	Součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
$K$	Délka kroku	[mm]
$k_k$	Součinitel bezpečnosti	[-]
$k_{PR}$	Tuhost pružiny	[Nmm <sup>-1</sup> ]
$k_R$	Součinitel razicí síly	[-]
$L$	Délka křivky stříhu	[mm]
$l_c$	Délka rozvinutého polotovaru	[mm]
$l_i$	Délka přímého úseku	[mm]
$L_i$	Délka křivky stříhu i-tého střižníku	[mm]
$l_k$	Kritická volná délka střižníku	[mm]
$l_{ki}$	Kritická volná délka i-tého střižníku	[mm]
$l_{oi}$	Délka ohnutého úseku v neutrální ploše	[mm]
$L_P$	Délka prolisu	[mm]
$l_{sv}$	Rozvinutá délka svitku	[mm]
$l_u$	Vzdálenost mezi středy zaoblení nástrojů	[mm]
$m_C$	Celková hmotnost materiálu	[kg]
$m_{od}$	Hmotnost odpadu	[kg]
$m_{sv}$	Hmotnost svitku	[kg]
$n$	Koeficient vlivu vnějších podmínek	[-]
$N_{en}$	Náklady na energie	[Kč]
$N_{fix}$	Fixní náklady	[Kč]
$n_h$	Počet hodin na výrobu série	[h]
$N_{ks}$	Výrobní náklady na jeden kus	[Kč]
$n_{ksh}$	Počet kusů vyrobených za hodinu	[ks]
$n_{kss}$	Počet kusů vyrobených za směnu	[ks]
$N_m$	Náklady na mzdy	[Kč]
$N_{mat}$	Náklady na materiál	[Kč]
$N_N$	Náklady na nástroj	[Kč]
$N_r$	Náklady na režie	[Kč]
$n_s$	Počet směn na výrobu série	[-]
$N_{var}$	Variabilní náklady	[Kč]
$P_{lis}$	Příkon lisu	[kW]
$P_{orp}$	Příkon odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení	[kW]
$P_{sv}$	Počet svitků pro výrobu série	[-]
$P_v$	Počet výstřižků ze svitku	[-]
$R_a$	Drsnost povrchu	[μm]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$r_m$	Poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
$R_{max}$	Maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	Minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_o$	Vnitřní poloměr ohybu	[mm]

$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
$S_{kont\ i}$	Kontaktní plocha i-tého střižníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{pol}$	Plocha polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_s$	Střižná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{sv}$	Plocha svitku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{výs}$	Plocha výstřižků	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{výstř}$	Plocha výstřižku	[mm <sup>2</sup> ]
$\bar{S}$	Hlavní vnější rozměr výstřižku	[mm]
$t$	Tloušťka plechu	[mm]
$T_C$	Tržba za výrobu celé série	[Kč]
$t_{prac}$	Pracovní doba	[h]
$t_{výr}$	Výrobní čas	[h]
$v$	Střižná vůle	[mm]
$v_o$	Mezera mezi ohybnicí a ohybníkem	[mm]
$x$	Součinitel posunutí neutrální plochy	[-]
$X$	Souřadnice těžiště v ose x	[mm]
$x_i$	Vzdálenost působíště síly v ose x	[mm]
$x_{pr0}$	Délka stlačení pružin při předpětí	[mm]
$x_{pr1}$	Délka stlačení v momentě maximálních tvářecích sil	[mm]
$x_R$	Poloha působíště razicí síly	[mm]
$x_S$	Poloha působíště výslednice střižných sil	[mm]
$x_U$	Poloha působíště výslednice ohybových sil	[mm]
$Y$	Souřadnice těžiště v ose y	[mm]
$y_i$	Vzdálenost působíště síly v ose y	[mm]
$z$	Střižná mezera	[mm]
$\alpha$	Úhel ohybu	[°]
$\beta$	Úhel odpružení	[°]
$\gamma$	Úhel ohnutého úseku	[°]
$\Delta_d$	Rozměrová tolerance otvoru	[mm]
$\delta_e$	Rozměrová tolerance střižnice	[mm]
$\delta_k$	Rozměrová tolerance střižníku	[mm]
$\Delta Re$	Deformační zpevnění	[MPa]
$\Delta_v$	Rozměrová tolerance výstřižku	[mm]
$\varepsilon_1\ \varepsilon_2\ \varepsilon_3$	Hlavní poměrná přetvoření	[-]
$\varepsilon_{tmax}$	Trvalá poměrná deformace	[-]
$\eta$	Využití materiálu	[%]
$\lambda$	Součinitel plnosti diagramu	[-]
$\rho$	Poloměr neutrální osy	[mm]
$\rho_{ocel}$	Hustota oceli	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Hlavní napětí	[MPa]
$\sigma_{dov}$	Maximální dovolené napětí	[MPa]
$\sigma_{kont\ i}$	Kontaktní napětí i-tého střižníku	[MPa]
$\sigma_n$	Normálová složka napětí	[MPa]
$\tau_s$	Pevnost materiálu ve stříhu	[-]
$\psi$	Koeficient plnosti diagramu ohýbání	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výlisky z plechu [1] .....	9
Obr. 2 Schéma umístění součásti na skládacím metru .....	10
Obr. 3 Popis a základní rozměry součásti.....	10
Obr. 4 Řezání vodním paprskem [9] .....	11
Obr. 5 Řezání laserovým paprskem [12] .....	12
Obr. 6 Řezání plazmou [14] .....	12
Obr. 7 CNC vysekávací stroj [15] .....	12
Obr. 8 Princip magneticko-impulsního tváření [17].....	13
Obr. 9 Princip elektrohydraulického impulsního tváření [18].....	13
Obr. 10 Příklad pevného nástroje [19].....	13
Obr. 11 Sdružený postupový nástroj [20].....	14
Obr. 12 Odvíjecí a rovnací zařízení [21] .....	14
Obr. 13 Fáze střížného procesu [3].....	15
Obr. 14 Vliv střížné vůle na proces stříhání [25] .....	16
Obr. 15 Napjatost na střížné rovině při uzavřeném stříhání [3] .....	17
Obr. 16 Příklad střížných operací [25] .....	17
Obr. 17 Průběh střížné síly [27].....	18
Obr. 18 Parametry ohýbání do“U“ [28].....	19
Obr. 19 Schéma napjatosti při ohybu širokého pásu [3].....	19
Obr. 20 Průběh napětí a deformace průřezu [29] .....	20
Obr. 21 Schéma odpružení [30].....	21
Obr. 22 Metody eliminace odpružení [31] .....	21
Obr. 23 Průběh ohybové síly [32] .....	22
Obr. 24 Znázornění ohybové práce a součinitele plnosti diagramu [27].....	23
Obr. 25 Příklad tvarových prvků zhotovených reliéfním přetvářením [34].....	23
Obr. 26 Příklad nástřihového plánu [37] .....	24
Obr. 27 Nástřihové plány pro minimalizaci technologického odpadu [24] .....	25
Obr. 28 Druhy nástřihových plánů podle orientace výstřižků [39] .....	25
Obr. 29 Víceřadá uspořádání a předpokládané využití materiálu [38].....	25
Obr. 30 Druhy střížnic [40] .....	26
Obr. 31 Grafická znázornění typů geometrie střížné hrany [28].....	27
Obr. 32 Řešené typy uložení z hlediska vzpěrné stability [40] .....	28
Obr. 33 Úpravy střížníků pro zvýšení vzpěrné stability [28] .....	28
Obr. 34 Úpravy pro snížení střížné síly [40] .....	28
Obr. 35 Způsoby ukotvení střížníků [40] .....	29
Obr. 36 Schémata rozměrů nástrojů při vystřihování a děrování [41] .....	29
Obr. 37 Typy ohybnic [31].....	30
Obr. 38 Příklad postupového sdruženého nástroje s popisem základních částí [42].....	31
Obr. 39 Schéma hydraulického lisu [44] .....	32
Obr. 40 Schéma výstředníkového lisu [45] .....	32
Obr. 41 Minimální vzdálenosti otvorů v různých případech [24] .....	33
Obr. 42 Minimální vzdálenost otvoru od ohybu [29].....	34
Obr. 43 Orientace osy ohybu na průběh vláken [38].....	34
Obr. 44 Kritické rozměry z pohledu technologičnosti .....	35
Obr. 45 Vnitřní poloměr ohybu .....	35
Obr. 46 Rozměry pro výpočet rozvinuté délky .....	36
Obr. 47 Rozvinutý tvar součásti .....	36
Obr. 48 Znázornění podélného rozmístění .....	37

Obr. 49 Znázornění příčného rozmístění .....	38
Obr. 50 Znázornění podélného rozmístění s dírami pro hledáčky .....	38
Obr. 51 Znázornění příčného rozmístění s dírami pro hledáčky .....	38
Obr. 52 Znázornění příčného dvouřadého rozmístění .....	39
Obr. 53 První varianta výrobního postupu .....	41
Obr. 54. Druhá varianta výrobního postupu .....	41
Obr. 55 Třetí varianta výrobního postupu .....	42
Obr. 56 Popis zvoleného nástřihového plánu na 3D modelu .....	43
Obr. 57 Průřezy střižníků s kótami funkčních rozměrů .....	44
Obr. 58 Poloha těžiště tvářecích sil .....	47
Obr. 59 Model nástroje .....	47
Obr. 60 Popis podskupiny upínací desky .....	48
Obr. 61 Popis podskupiny vodicí desky .....	48
Obr. 62 Popis spodní části .....	49
Obr. 63 Otevřený nástroj v horní úvrati .....	50
Obr. 64 Dosednutí vodicí desky .....	50
Obr. 65 Sevřený nástroj ve spodní úvrati .....	50
Obr. 66 Lis LEN 40 C [51] .....	52
Obr. 67 Grafické znázornění závislosti nákladu a tržeb na počtu vyrobených kusů .....	57

## SEZNAM TABULEK

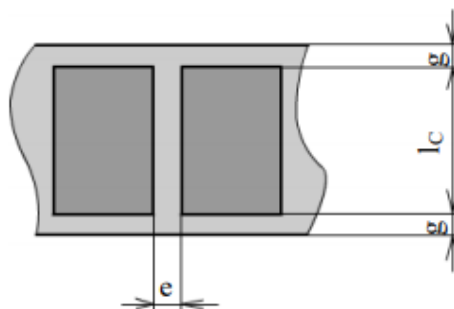
Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli DC01+LC, tl. 0,3 mm [6], [7] .....	11
Tab. 2 Závislost součinitele $x$ na poměrném poloměru ohybu [29] .....	20
Tab. 3 Typy střižnic dle geometrie střižné hrany [22] .....	27
Tab. 4 Závislost dosažitelných rozměrových tolerancí na poloměru ohybu [24] .....	34
Tab. 5 Tolerance úhlu dosažitelné běžným ohýbáním na 90° [24] .....	34
Tab. 6 Porovnání využití materiálu pro jednotlivé varianty rozmístění .....	40
Tab. 7 Velikosti střižných sil .....	44
Tab. 8 Velikosti střižných prací .....	45
Tab. 9 Parametry výstředníkového lisu LEN 40 C .....	53
Tab. 10 Technologický postup výroby .....	54

## SEZNAM PŘÍLOH

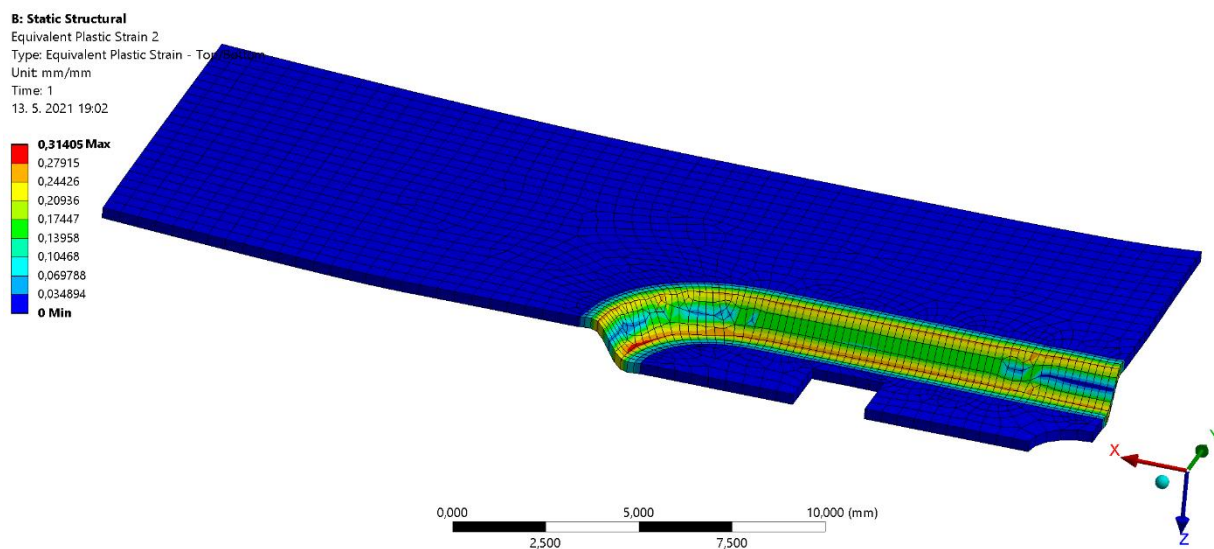
- Příloha 1    Určení rozměrů můstků a postranního odpadu [58]  
Příloha 2    Simulace plastického přetvoření ve třetím tvářecím kroku  
Příloha 3    Závislost tolerancí střížných nástrojů na tolerancích součástí [59]  
Příloha 4    Základní parametry odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení [53]

## SEZNAM VÝKRESŮ

ZÁMEK SKLÁDACÍHO METRU	2021_DP_183266_1
SDRUŽENÝ NÁSTROJ	2021_DP_183266_SN
HORNÍ ČÁST NÁSTROJE	2021_DP_183266_H
HORNÍ ČÁST NÁSTROJE_K	2021_DP_183266_H_K
SPODNÍ ČÁST NÁSTROJE	2021_DP_183266_S
SPODNÍ ČÁST NÁSTROJE_K	2021_DP_183266_S_K
STŘIŽNÍK 3mm	2021_DP_183266_H_6
STŘIŽNÍK KROK 4	2021_DP_183266_H_10
STŘIŽNÍK KROK 9	2021_DP_183266_H_12
STŘIŽNICE 1	2021_DP_183266_S_2
STŘIŽNICE 2	2021_DP_183266_S_3
OHYBNÍK	2021_DP_183266_H_14
OHYBOVÝ BLOK	2021_DP_183266_S_7
RAZNÍK	2021_DP_183266_S_5
RAZNICE	2021_DP_183266_H_15



Tloušťka materiálu s [mm]	Šířka pásu $l_c$ [mm]											
	do 15		15 – 50		50 – 100		100 – 200		200 – 300		300 – 400	
	e	g	e	g	e	g	e	g	e	g	e	g
0,1 – 0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1,0	1,3	1,6	1,6	2,0	2,0	2,5	3,0	3,7	4,0	4,8	4,8	6,0
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7,0
2,0	2,0	2,5	2,5	3,1	3,0	3,7	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4,0	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4,0	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3,0	3,7	3,2	4,0	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3,0	3,0	3,7	3,2	4,0	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	8,5
4,0			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8,0	8,0	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7,0	8,3	8,3	9,8
5,0			4,5	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,3	8,5	8,7	10,0





Základní výrobní tolerance IT stříhaného výrobku	8 ÷ 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 ÷ 6	6 ÷ 7	7 ÷ 8	8 ÷ 9	10	11	12

Model	NCMA – 200
Coil width (mm)	10 ~ 200
Coil thickness (mm)	0.15 ~ 2.2
Coil I.D.	Ø 508
Coil I.D.	Ø 1200
Coil Weight (kgs)	1000
Straightening roller (pcs)	Upper 3 Lower 4
Feed roller (pcs)	2
Feed speed (m/min)	16
Drive servo motor (kw)	AC 3.5
Uncoil motor (kw)	AC 0.75
Mandrel expansion	
Air Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	5
Dimensions (L x W x H) (mm)	2740 * 1320 * 2250
Machine weight (kgs)	1000
Coil thickness (mm)	Coil width (mm)
0.3 ~ 1.0	200